

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Geomatik

Steffen Gauger

Aufarbeitung, Visualisierung und Analyse einer bathymetrischen
Vermessung im westlichen Teil des Gakkel-Rückens

Diplomarbeit

Betreuender Prüfer: Prof. Dr.-Ing. D. Egge

Zweiter Prüfer: Dr.-Ing. H. W. Schenke

September 2002

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Daten einer Tiefseevermessung des südwestlichen Gakkel-Rückens zur Erstellung bathymetrischer Karten und zur Interpretation der Topographie genutzt. Die Vermessung des 9900 km² großen Arbeitsgebietes erfolgte während der *Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition* 2001 mit den Fächersonarsystemen Hydrosweep DS-2 und Seabeam 2112.

Der Gakkel-Rücken liegt im zentralen Arktischen Ozean und ist Teil des Mittelozeanischen Rückensystems. Aufgrund seiner extrem langsamen Spreizungsgeschwindigkeit ist er von besonderem geowissenschaftlichem Interesse. Die vielfältige Morphologie des Gakkel-Rückens gibt Auskunft über die tektonischen Prozesse bei der Bildung neuer ozeanischer Erdkruste.

Zunächst wird die geographische Lage des Gakkel-Rückens sowie die geologischen Vorgänge und die Topographie Mittelozeanischer Rücken behandelt. Darauf folgen technische Informationen über die verwendeten Messsysteme. Die anschließende Datenbereinigung zeigt, dass die Qualität der Messdaten stark von den hydroakustischen Störungen durch die Fahrt im Eis beeinträchtigt ist. Aus den bereinigten Messdaten wird ein digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 100 m berechnet und hinsichtlich der Genauigkeit untersucht. Der Vergleich der Messdaten beider Fächersonarsysteme liefert weitestgehend übereinstimmende Ergebnisse, zeigt aber auch, dass zur Berechnung eines hochauflösenden Geländemodells eine ausreichende Stützstellenanzahl erforderlich ist.

Als Ergebnis dieser Arbeit werden drei bathymetrische Karten im Maßstab 1 : 150 000 vorgelegt, in denen die Topographie des Gakkel-Rückens durch Isobathen mit einer Äquidistanz von 50 m dargestellt wird. Eine Interpretation der Topographie führt zur Unterteilung des Arbeitsgebietes in drei Regionen. Sie weisen typische Merkmale Mittelozeanischer Rücken auf und belegen tektonische Aktivitäten. Der Vergleich der neuen Tiefeninformationen mit dem bisherigen Kenntnisstand der Meeresbodentopographie zeigt Übereinstimmungen, aber auch Differenzen bis zu 2000 m.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
2 Geowissenschaftliche Grundlagen	4
2.1 Geologie der Mittelozeanischen Rücken	4
2.1.1 Grundbegriffe der Plattentektonik	4
2.1.2 Magmatische Prozesse an Spreizungszentren	5
2.1.3 Besondere geologische Eigenschaften des Gakkel-Rückens	6
2.2 Topographie der Mittelozeanischen Rücken	6
2.3 Datenbasis der Tiefeninformation des Arktischen Ozeans	9
2.4 Geographischer Überblick des Arktischen Ozeans	9
2.4.1 Geographische Gliederung	9
2.4.2 Lage des Gakkel-Rückens	11
3 Erfassung und Bereinigung der hydrographischen Daten	12
3.1 Beschreibung der Messsysteme	12
3.2 Ablauf der Vermessung	14
3.3 Erwartete Qualität und Quantität der Daten	15
3.4 Ablauf und Vorarbeiten der Datenbereinigung	17
3.5 Positionsdatenbereinigung	19
3.6 Tiefendatenbereinigung	20
3.6.1 Bereinigung im <i>Swath Editor</i>	21
3.6.2 Bereinigung durch <i>Surface Cleaning</i>	23
3.7 Fazit der Datenbereinigung in CARIS HIPS	25
3.8 Normierung der Wassertiefen	26
4 Digitale Modellierung des Geländes	29

4.1	Koordinatentransformation	29
4.2	Interpolation durch <i>Inverse Distance Weighting</i>	30
4.3	Ermittlung der Interpolationsparameter in einem Testgebiet	31
4.3.1	Abstand der Gitterpunkte	32
4.3.2	Gewichtung und Auswahl der Messpunkte	32
4.4	Berechnung des Geländemodells	34
4.5	Glättung des Geländemodells	34
4.6	Untersuchung der Genauigkeit	37
4.7	Vergleich der Messdaten des Hydrosweep DS-2 und des Seabeam 2112	39
5	Visualisierung des digitalen Geländemodells	42
5.1	Bathymetrische Karte	42
5.1.1	Ableitung und Nachbearbeitung der Isolinien	42
5.1.2	Kartendarstellung in ArcPlot	43
5.2	Dreidimensionale Visualisierung	45
6	Interpretation der Topographie	47
6.1	Der Gakkel-Rücken östlich von 3° E (Region A)	48
6.2	Der Gakkel-Rücken westlich von 3° E (Regionen B und C)	49
6.3	Vergleich des Geländemodells mit der IBCAO	51
7	Zusammenfassung und Ausblick	54
	Literaturverzeichnis	57
A	Abkürzungen	61
B	Zusammenstellung vergrößerter Abbildungen	63
C	Auswertung der CTD-Profile	68
D	Dokumentation des Programms depth2sound.pl	73
D.1	Programmbeschreibung	73
D.2	Quelltext	76
E	Dokumentation des Programms mb_svp2svp.pl	87
E.1	Programmbeschreibung	87
E.2	Quelltext	88
F	Quelltext der AML-Scripte zur Kartenerstellung in ArcInfo	92
F.1	AML-Quelltext zur Karte 9° W – 2° W	92

F.2	AML-Quelltext zur Karte 7° W – 2° E	97
F.3	AML-Quelltext zur Karte 2° W – 6°30' E	102
F.4	AML-Quelltext zur Darstellung des Inhaltes der Hauptkarte	107
F.5	AML-Quelltext zur Nebenkarte <i>Sheet Index of Gakkel-Ridge</i>	110
F.6	AML-Quelltext zur Nebenkarte <i>Track Lines and Geological Sampling Stations</i>	113
F.7	AML-Quelltext zum Kartenbegleittext	118
F.8	AML-Quelltext zur Kartenlegende	121
G	Bathymetrische Karten des Gakkel-Rückens 1 : 150 000	127
G.1	Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge 1 : 150 000 2° W – 6° 30' E	127
G.2	Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge 1 : 150 000 7° W – 2° E	128
G.3	Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge 1 : 150 000 9° W – 2° W	129
H	Inhalt der beigefügten CD-ROM	130

Abbildungsverzeichnis

2.1	Magmatische Prozesse an Mittelozeanischen Rücken	5
2.2	Topographisches Profil eines Mittelozeanischen Rückens	7
2.3	Variation des Rückenprofils in Abhängigkeit von der Spreizungsrate	8
2.4	Geographische Übersicht des Arktischen Ozeans	10
3.1	Diagramm der Bearbeitungsschritte	18
3.2	Beispiel der guten Qualität der Hydrosweep DS-2-Positionsdaten	19
3.3	Beispiel der fehlerhaften Positionsdaten des Seabeam 2112	20
3.4	Beispiel der Tiefendaten des Seabeam 2112	22
3.5	Beispiel der Tiefendaten des Hydrosweep DS-2	23
3.6	Berechnungsergebnis des <i>Surface Cleaning</i>	24
3.7	Normierung der Tiefenmessung auf eine einheitliche Schallgeschwindigkeit	26
4.1	Interpolation der Rasterpunkthöhe durch <i>Inverse Distance Weighting</i>	30
4.2	Punktdichte, Fahrtlinien und Hangneigung im Testgebiet	31
4.3	Vergleich von Interpolationsparametern anhand der berechneten DGM	33
4.4	Isolinienverlauf aus dem ungeglätteten Geländemodell	35
4.5	Isolinienvergleich des geglätteten und ungeglätteten Geländemodells	36
4.6	Histogramm der empirischen Standardabweichung	38
4.7	Regionale Verteilung der empirischen Standardabweichung	39
4.8	Differenz der Geländemodelle aus Seabeam- bzw. Hydrosweep-Daten	41
5.1	Isolinienartefakte am Rand des Arbeitsgebietes	43
5.2	Manuell geglättete und extrapolierte Isolinien	44
5.3	Beispiele zur dreidimensionalen Visualisierung des Geländemodells	46
6.1	Übersicht der topographischen Regionen im Arbeitsgebiet	47
6.2	Profilschnitte über den Gakkel-Rücken	48
6.3	Untergliederung des Gakkel-Rückens in Segmente	49
6.4	Beispiel morphologischer Strukturen in Region B	50

6.5	Vergleich des hochauflösenden DGM mit der IBCAO	52
6.6	Vergleich der DGM durch Profilschnitte über den Rücken	52
B.1	Vergrößerte Darstellung der Punktdichte und Hangneigung im Testgebiet .	64
B.2	Vergrößerte Darstellung des Vergleichs von Interpolationsparametern anhand der berechneten DGM	65
B.3	Vergrößerte Darstellung der Verteilung der empirischen Standardabweichung	66
B.4	Gesamtgebiet der Vermessung des Gakkel-Rückens auf der AMOR-Expedition	67

Tabellenverzeichnis

3.1	Technische Spezifikationen des Fächersonar-Systems Hydrosweep DS-2 . . .	13
3.2	Technische Spezifikationen des Fächersonar-Systems Seabeam 2112	14
3.3	Filtereinstellungen bei der Tiefendateneditierung im <i>Swath Editor</i>	21
4.1	Verschiedene Interpolationsparameter zur Berechnung von Geländemodellen	33
4.2	Interpolationsparameter zur DGM-Berechnung des Gesamtgebietes	34
4.3	Hangneigungsklassen im Arbeitsgebiet	36
C.1	Auswertung der CTD-Messungen	68

1 Einleitung

Die Wissenschaft von der Erforschung der Prozesse, durch die die Oberfläche der Erde geformt wird, hat eine lange Geschichte, doch noch bis vor weniger als 90 Jahren war für viele Wissenschaftler nichts stabiler als die Kontinente. Eine Verschiebung von kontinentalen Platten und die Neuentstehung von Ozeanen war undenkbar. Wesentliche Grundzüge der Theorie der Plattentektonik, die *Alfred Wegener* in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts erkannte, wurden ignoriert und als Absurditäten abgetan (*Miller* 1992[27]). Wie sollten solche Vorgänge auch nachgewiesen werden? Ein Satelliten-Positionierungssystem gab es nicht; magnetische, seismische und gravimetrische Messungen waren nur unzureichend bekannt und die Technik, um Gesteinsproben vom Grund der Ozeane zu sammeln, nicht vorhanden.

Mit den technischen Neuerungen im 20. Jahrhundert ist es möglich geworden, die Drift der Kontinente zu messen. Die Entdeckung magnetischer Streifenmuster in den Ozeanen durch *Vine* und *Matthews* war 1963 der erste Schritt zur Anerkennung der Theorie der Plattentektonik (*Judson & Kauffman* 1990[23]). Weitere Schritte folgten durch petrologische und geochemische Untersuchungen aufgrund der aufkommenden Vielfalt und Qualität der Analysegeräte.

Die Vorgänge im Erdinneren werden heute unter anderem an Mittelozeanischen Rücken erforscht. Diese haben den Vorteil, dass sie keine lange und komplexe geologische Geschichte haben. Die Spuren der tektonischen Aktivitäten sind häufig direkt am Meeresboden abzulesen (*Small* 1998[31]).

Die Kenntnisse, die an den Mittelozeanischen Rücken gewonnen werden, ermöglichen weitreichende Schlussfolgerungen über die Prozesse zur Bildung und den Aufbau der Erdkruste. Infolge der großen Bedeutung der Erforschung Mittelozeanischer Rücken fand Mitte des Jahres 2001 die deutsch-amerikanische *Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition* (AMORE 2001) statt. Die Expedition führte Wissenschaftler mehrerer Forschungsinstitute zum Gakkel-Rücken¹ im Arktischen Ozean. Dieser markiert die Grenze

¹Der Rücken wurde zunächst unter dem Namen Nansen-Rücken und später unter dem Namen

der Nordamerikanischen und der Eurasischen Platte, die wegen ihrer außergewöhnlich langsamen Spreizung von besonderem Interesse ist. Die Geschwindigkeit, mit der die Platten der Erdkruste divergieren, hat großen Einfluss auf die Topographie des Meeresbodens und auf den geologischen Aufbau dieser Zonen (*Kristoffersen 1982*[25]).

Grundlage der geologischen und geophysikalischen Erforschung des Gakkel-Rückens ist die genaue Erkundung der Bathymetrie – der Basis für alle weiteren Untersuchungen. Sie ermöglicht die Interpretation der morphologischen Strukturen des Ozeanbodens, die Auswertung und Analyse von geophysikalischen Messungen, sowie die räumliche Zuordnung geochemischer Informationen oder ozeanographischer Daten. Dazu wurde im Verlauf der AMOR-Expedition 2001 der Meeresboden mithilfe von hochauflösenden Fächersonarsystemen vermessen.

Die hier vorliegende Arbeit beinhaltet die Auswertung eines Teils der auf dieser Forschungsfahrt aufgezeichneten bathymetrischen Daten. Einleitend informiert das Kapitel 2 über die geowissenschaftlichen Grundlagen der Arbeit. Es behandelt die tektonischen Vorgänge an den ozeanischen Plattengrenzen, insbesondere die geologischen Prozesse an langsam spreizenden Mittelozeanischen Rücken und den besonderen Status des Gakkel-Rückens. Außerdem werden typische topographische Strukturen Mittelozeanischer Rücken vorgestellt, die oftmals von der Spreizungsrate abhängig sind. Anschließend wird die Geographie des Arktischen Ozeans und des Gakkel-Rückens vorgestellt, sowie die Herkunft der Tiefeninformationen beschrieben.

In Kapitel 3 werden die technischen Merkmale der zur bathymetrischen Vermessung des Gakkel-Rückens eingesetzten Fächersonarsysteme Hydrosweep DS-2 und Seabeam 2112 und der Ablauf der Vermessung während der AMOR-Expedition 2001 dargelegt. Anschließend wird die Aufbereitung der Messdaten beschrieben. Diese besteht aus der Bereinigung von Messfehlern bei der Positions- und Tiefenbestimmung in mehreren Bearbeitungsschritten.

Das folgende Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Berechnung des digitalen Geländemodells (DGM). Es beinhaltet die Normierung der Tiefen sowie die Transformation der Positionsdaten in das Abbildungssystem, die Festlegung der Berechnungsparameter des Modells und die Untersuchung zur Qualität der DGM-Berechnung. Im Rahmen der Qualitätsanalyse des Geländemodells erfolgt außerdem der Vergleich der Messdaten der eingesetzten Echolotsysteme.

Ziel der digitalen Modellierung ist unter anderem die graphische Darstellung der To-

Nansen-Gakkel-Rücken geführt. Alleiniger Pate des heutigen Namens ist der prominente russische Polarforscher und Professor für Geographie, Yakov Gakkel (1901 – 1965) (*Archives of the AARI* [2]).

pographie des Gakkel-Rückens. Diese wird in Kapitel 5 beschrieben und ist in zwei Teile untergliedert: Die Erstellung von drei bathymetrischen Karten sowie die dreidimensionale Visualisierung des digitalen Höhenmodells. Die bathymetrischen Karten stellen die Topographie des südwestlichen Teils des Gakkel-Rückens durch Tiefenlinien im Intervall von 50 m in einem Maßstab von 1 : 150 000 dar.

Auf der Grundlage dieser Karten sowie der dreidimensionalen Visualisierung des Geländemodells wird im Kapitel 6 die Topographie des Gakkel-Rückens detailliert beschrieben und interpretiert. Zusätzlich wird das erstellte hochauflösende digitale Geländemodell mit dem bisherigen Kenntnisstand der Meeresbodentopographie, entnommen aus der *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean* 2001, verglichen.

2 Geowissenschaftliche Grundlagen

2.1 Geologie der Mittelozeanischen Rücken

2.1.1 Grundbegriffe der Plattentektonik

Grundlegend für die Theorie der Plattentektonik ist die Vorstellung, dass die Lithosphäre in einzelne Segmente unterteilt ist, die auf der weicheren Asthenosphäre driften. Die Lithosphäre besteht dabei aus der Erdkruste und einem starren Anteil des oberen Erdmantels. Die Asthenosphäre beginnt unterhalb des Ozeanbodens in etwa 100 km Tiefe (*Miller* 1992[27]). Durch die sich in unterschiedlichen Richtungen bewegendenden Lithosphärenplatten entstehen drei Arten von in der ozeanischen Kruste sichtbaren Plattengrenzen:

- Transformverwerfungen (Transform faults): Die Lithosphärenplatten gleiten aneinander entlang. Dabei wird Lithosphäre weder gebildet noch vernichtet.
- Spreizungszonen (konstruktive Plattengrenzen): Zentren, an denen die Platten divergieren. Hier dringen Gesteinsschmelzen zum Teil bis an die Erdoberfläche und bilden neue Erdkruste.
- Subduktionszonen (destruktive Plattengrenzen): Grenzen, an denen die Lithosphärenplatten konvergieren. Die ozeanische Lithosphäre taucht hier unter eine kontinentale Platte ab und wird somit wieder dem geologischen Kreislauf des Erdmantels zugeführt.

Wenngleich sich die Theorie der Plattentektonik in den letzten Jahrzehnten durch die zahlreichen neuen Erkenntnisse durchgesetzt hat, sind die Kräfte, die diese Vorgänge antreiben, noch weitgehend unerforscht. Grund dafür ist, dass sie auf Vorgängen beruhen, die tief im Erdmantel vonstatten gehen und sich somit der direkten Beobachtung

entziehen. Ein etabliertes Modell der Entstehung der Lithosphärenrift beruht auf der Wärmeenergie im Erdinneren. Sie sorgt aufgrund der Konvektion für eine Fließdynamik im Erdmantel. Die daraus resultierenden großräumigen Umwälzungen von Material im Erdmantel (Konvektionszellen) werden als Ursache für die Drift der Lithosphäre angesehen (Bonatti 1994[9]).

Die Spreizungsrate eines Mittelozeanischen Rückens gibt an, mit welcher Geschwindigkeit die Lithosphärenplatten am Spreizungszentrum divergieren. Sie variiert entlang der Rückensysteme der Weltmeere, weswegen die Segmente ähnlicher Spreizungseigenschaften in eigenen Gruppen betrachtet werden. Die maximale Öffnungsgeschwindigkeit am schnell spreizenden ostpazifischen Rücken beispielsweise beträgt rund 180 mm im Jahr, wogegen sich die Platten des langsam spreizenden Mittelatlantischen Rückens mit maximal 40 bis 50 mm im Jahr voneinander entfernen (Eisbacher 1991[15]).

2.1.2 Magmatische Prozesse an Spreizungszentren

Unterhalb von Mittelozeanischen Rücken (MOR) steigen Erdmantelgesteine aus Tiefen von mehr als 100 km auf (Abb. 2.1). Durch die damit verbundene Änderung der Druck- und Temperaturverhältnisse schmilzt das Material teilweise auf. Die Schmelze trennt sich von dem festen Mantelgestein (Peridotit) und dringt in die Magmenkammern in der Erdkruste des Mittelozeanischen Rückens. Ein Teil dieser Schmelze tritt an der Oberfläche des MOR aus, kühlt dort rasch ab und verfestigt sich. Der Rest erstarrt langsam unter der schon festen Oberfläche, wodurch neue ozeanische Kruste entsteht (Bonatti 1994[9]).

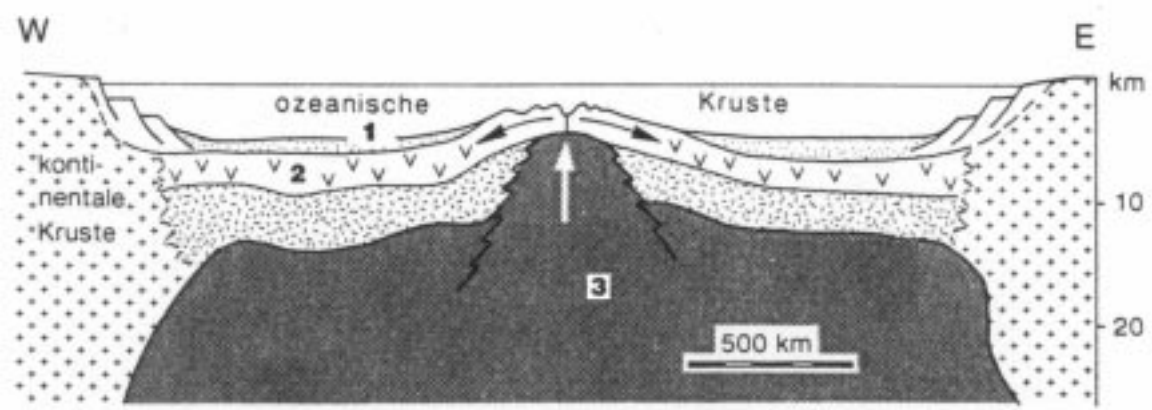


Abb. 2.1: Magmatische Prozesse an MOR am Beispiel des Atlantischen Ozeans (nach Frisch & Loeschke 1993[16]) Lage 1: Tiefseesedimente, Lage 2: Laven basaltischer Zusammensetzung, Lage 3: Gesteine des Erdmantels

Die Geschwindigkeit, mit der das Mantelmaterial an die Erdoberfläche dringt, beeinflusst dessen Grad der Aufschmelzung und somit die Gesteinszusammensetzung der ozeanischen Erdkruste. Da dieser Aufstieg des Gesteins als eine passive Reaktion des Erdmantels auf das Auseinanderdriften der Lithosphärenplatten verstanden wird (*Frisch & Loeschke* 1993[16]), steigt es in Abhängigkeit von der Spreizungsrate des Rückens schneller oder langsamer auf.

Mit kleiner werdender Spreizungsrate vermindert sich die Aufschmelzung des Mantelgesteins soweit, dass magmatische Aktivitäten nur noch in sehr eingeschränktem Maße vorkommen. Dadurch wird die Topographie des Meeresbodens beeinflusst.

2.1.3 Besondere geologische Eigenschaften des Gakkel-Rückens

Unter den langsam spreizenden Mittelozeanischen Rücken nimmt der Gakkel-Rücken eine besondere Position ein. Er ist der Rücken mit der geringsten Spreizungsrate der Erde (*Michael et al.* 2001[26]). Am Ostende vor der Laptev-See beträgt diese nur ca. 6 mm pro Jahr. Die Geschwindigkeit der Plattenbewegung steigt auf rund 11 mm pro Jahr bei 60° E und nimmt auf 13 mm pro Jahr am westlichen Ende zu (*DeMets et al.* 1990[13]).

Dass der Gakkel-Rücken heute noch ein tektonisch aktives Gebiet ist, belegen seismische Aufzeichnungen des Jahres 1999. Damals registrierte das globale seismische Netzwerk von Januar bis August eine Erdbebenserie von über 200 Einzelbeben, deren Zentren über dem Gakkel-Rücken zwischen 70° E und 90° E lagen (*Müller & Jokat* 2000[28]). Für gewöhnlich werden weniger als 10 Beben im Jahr in dieser Region registriert.

2.2 Topographie der Mittelozeanischen Rücken

Die Topographie der Mittelozeanischen Rückensysteme ist von besonderem Interesse, da sie einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der im Erdinneren ablaufenden Prozesse leistet.

Wie in Abb. 2.2 dargestellt, heben sich die MOR im Allgemeinen um etwa 2000 bis 3000 m aus den ozeanischen Tiefseebecken heraus. Die äußeren Hänge fallen weit und flach ab und deren Oberflächenrauigkeit steigt mit kleiner werdender Distanz zur Mitte

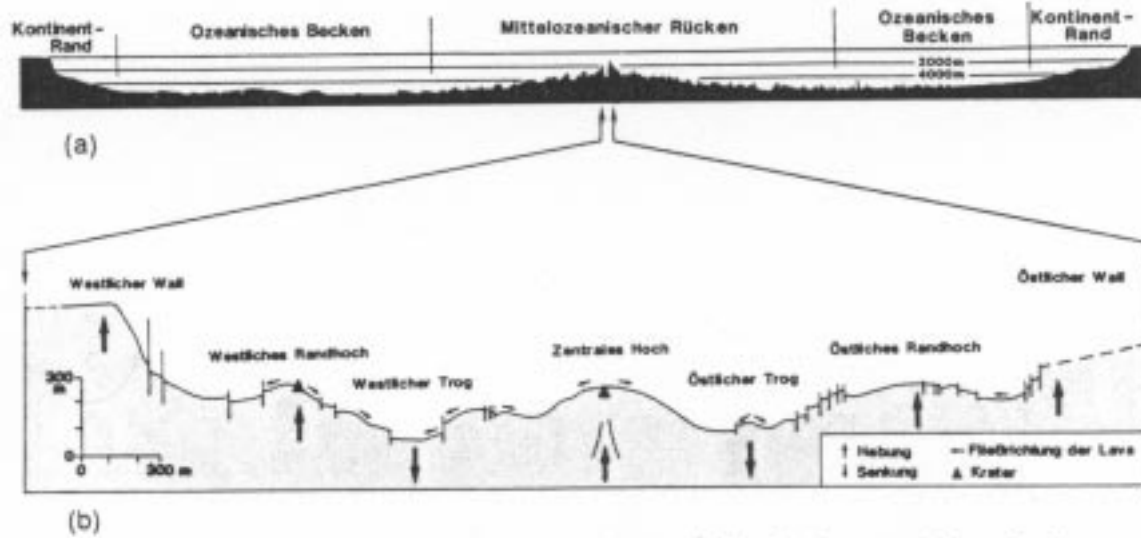


Abb. 2.2: (a) Generalisiertes topographisches Profil durch einen MOR, den Ozeanboden und den Kontinentalrand am Beispiel des Nordatlantischen Ozeans; (b) Topographisches Profil durch den inneren Graben eines MOR am Beispiel des Mittelatlantischen Rückens südwestlich der Azoren ($36^{\circ} 50' N$) (Frisch & Loeschke 1993[16])

des Rückens. Grund dafür ist die Bedeckung mit Sedimenten¹, deren Mächtigkeit mit kleiner werdender Entfernung zur Rückenachse abnimmt (Abb. 2.1).

Die morphologische Ausprägung der zentralen Spreizungszone ist von der Spreizungsrate des Rückens abhängig. Während schnell spreizende Plattengrenzen eine Erhebung entlang der Rückenachse entwickeln, sind langsam spreizende Rücken von einem tiefen axialen Tal gekennzeichnet (Frisch & Loeschke 1993[16]). Hier steigen die Schmelzen des Erdmantels auf und bilden neue Erdkruste. Aufgrund des jungen Alters des Ozeanbodens im Zentraltal ist die Sedimentbedeckung hier meist sehr gering und hat somit kaum einen Einfluss auf die topographische Ausformung. Axiale Täler weisen meist Diskontinuitäten auf, an denen der Verlauf der Rückenachse durch einen Versatz unterbrochen ist und sich in teilweise leicht veränderter Richtung fortsetzt.

Auch im Detail zeigt die Topographie des Zentraltales systematische Variationen in Abhängigkeit von der Spreizungsgeschwindigkeit (Small 1998[31]). Die Randverwerfungen sind zu beiden Seiten des Tales häufig unterschiedlich hoch, wobei die höhere Talflanke auch steiler ansteigt. Dieser Höhenunterschied der Rückenflanken (Asymme-

¹Die Sedimentationsrate liegt im östlichen Teil der Arktis zwischen 1 und 3 cm in tausend Jahren (Thiede et al. 1990[34]). Aus Informationen über die Mächtigkeit der Sedimentdecke können Anhaltspunkte über das Alter der Erdkruste gewonnen werden.

trie) kann nach der Abb. 2.3 bis über 1500 m betragen.

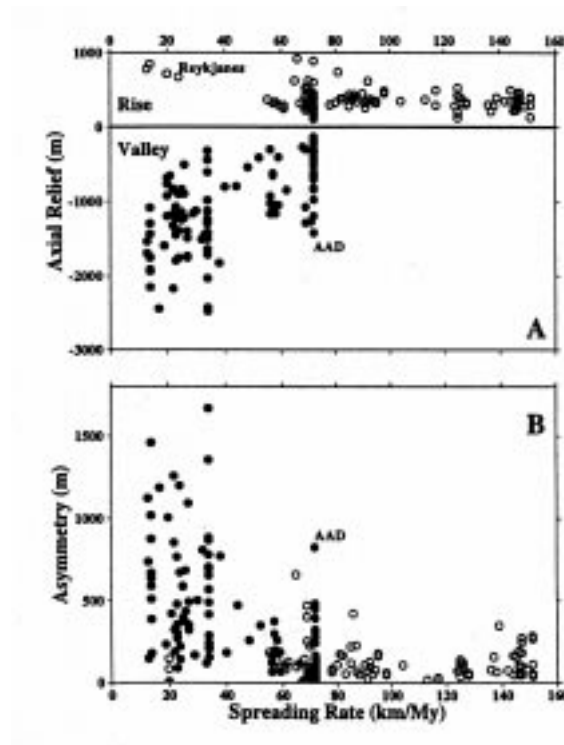


Abb. 2.3: Variation in der Tiefe des Taleinschnitts (A) und der Asymmetrie des Rückenprofils (B) ozeanischer Spreizungszentren in Verbindung mit der Spreizungsgeschwindigkeit (*Small* 1998[31])

Diese auf einer Studie von *Christopher Small* (1998) beruhende Graphik zeigt außerdem, dass auch der Höhenunterschied zwischen Rückenkamm und Rückental (*Axial Relief*) mit der Spreizungsgeschwindigkeit korreliert ist. Dabei treten die maximalen Höhenunterschiede an langsam spreizenden Rücken auf und verringern sich mit steigender Spreizungsgeschwindigkeit. Von einer geringen Asymmetrie oder einem geringen axialen Relief kann aber nicht automatisch auf eine hohe Spreizungsrate geschlossen werden. Die Asymmetrie kann beispielsweise an langsam spreizenden Rücken, ebenso wie an Rücken höherer Spreizungsgeschwindigkeit, nur wenige hundert Meter betragen.

Diese Charakteristiken erlauben Rückschlüsse auf die Vorgänge bei der Entstehung der Mittelozeanischen Rücken und erfordern daher eine sehr sorgfältige Erstellung des Geländemodells.

2.3 Datenbasis der Tiefeninformation des Arktischen Ozeans

Der Arktische Ozean (Abb. 2.4) ist ein bisher wenig erkundetes Weltmeer. Der Grund liegt in der schweren Zugänglichkeit eines großen Teils des Arktischen Ozeans, bedingt durch dessen permanente Eisbedeckung. Die wenigen existierenden Tiefenmessungen stammen somit von Eisbrechern, U-Booten oder wissenschaftlichen Driftstationen. Die SCICEX-Vermessungskampagnen 1998 und 1999 lieferten einen wichtigen Beitrag zur Sammlung bathymetrischer Daten des Arktischen Ozeans (*Edwards et al. 2001[14]*). Während dieser Fahrten mit amerikanischen U-Booten, die mit dem SCAMP-System (*Seafloor Characterization and Mapping Pods*) ausgestattet waren, wurden unter anderem auch Teile des Gakkel-Rückens systematisch vermessen. Doch die Genauigkeit dieser Messdaten ist von der fehlerbehafteten Navigation unter der Wasseroberfläche beeinträchtigt. Sie liegt mit einer Zuverlässigkeit von etwa 3 km weit unter der erforderlichen Qualität für präzise, hochauflösende bathymetrische Karten. Die Vermessung mit eisbrechenden Schiffen ist dagegen durch das Verfahren der Sonarmesstechnik beeinträchtigt. Hier wird die Qualität der Tiefenmessungen durch die hydroakustischen Störeinflüsse bei der Fahrt durch das Eis gemindert.

Grundlage für heutige flächendeckende bathymetrische Karten sind über diese Tiefenmessungen hinaus prädierte bathymetrische Daten², die in ihrer Auflösung und Genauigkeit weit hinter der Sonarmesstechnik zurückstehen.

2.4 Geographischer Überblick des Arktischen Ozeans

2.4.1 Geographische Gliederung

Strukturell gliedert sich das Nordpolarmeer in Tiefseebecken, Tiefseerücken, Schelfmeere und Randplateaus (Abb. 2.4). Zwei Drittel der Fläche des Arktischen Ozeans nehmen die Schelfgebiete der Kontinente ein. Die fünf größten Schelfmeere sind die Barents-, Kara, Laptev-, Chukchi- und die Ostsibirische See, die sich vor der europäischen und sibirischen Küste befinden. Die kleineren Schelfmeere Beaufort- und Lincoln-See liegen auf Teilen des Kontinentalschelfes von Nordamerika und Grönland. Die Kontinen-

²Die prädierten bathymetrischen Daten werden durch die Ableitung der Meerestiefen aus satellitengestützten Altimetermessungen gewonnen (*Sandwell & Smith 1996[29]*). Die prädierte Bathymetrie ist die Kombination aller verfügbaren gemessenen Meerestiefen mit den indirekt aus Satellitenmessungen abgeleiteten Tiefen.

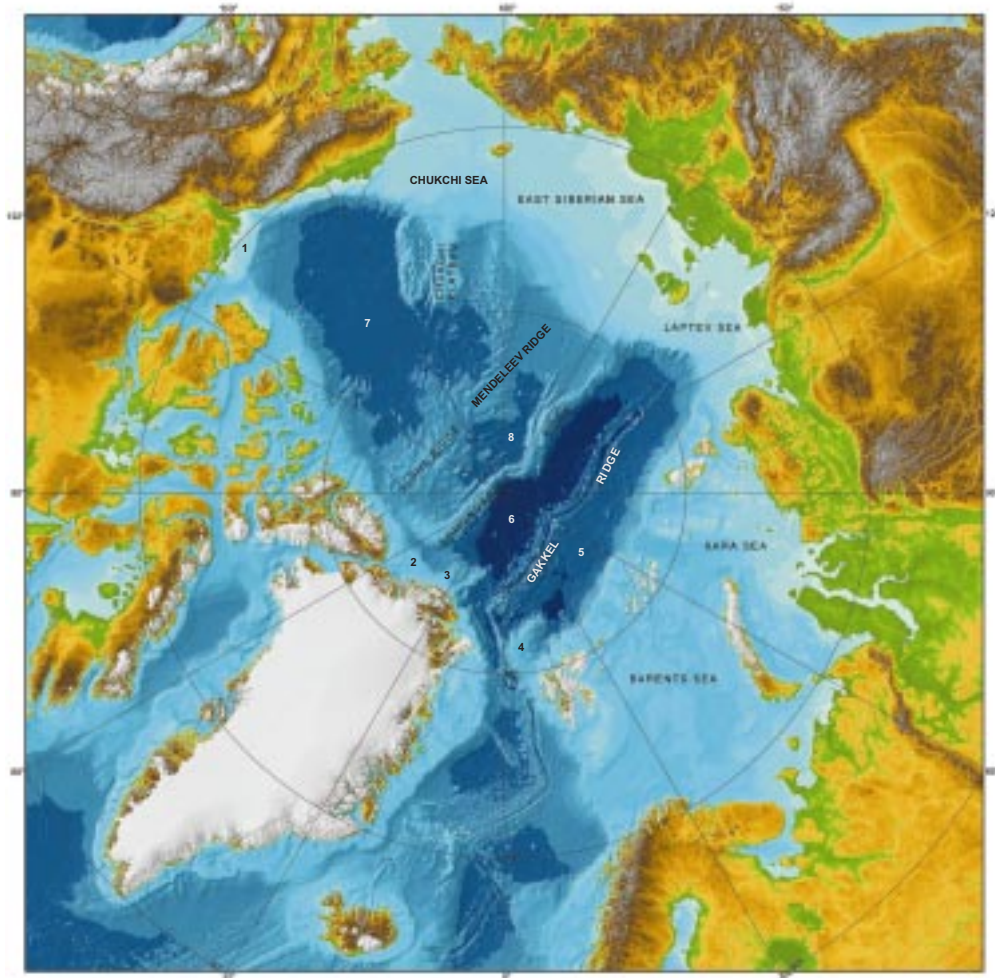


Abb. 2.4: Geographische Übersicht des Arktischen Ozeans.

1: Beaufort-See; 2: Lincoln-See; 3: Morris-Jesup-Rise; 4: Yermak-Plateau;
5: Amundsen-Becken; 6: Nansen-Becken; 7: Kanada-Becken; 8: Makarov-Becken;
(Verändert nach *Jakobsson* 2001[21])

talhänge im Übergang zu den ozeanischen Tiefseebecken werden durch fünf vorgelagerte Plateaus unterbrochen: dem Morris-Jesup-Rise vor Grönland, dem Yermak-Plateau vor Spitzbergen und dem Chukchi-Plateau vor der Chukchi-See.

Die Tiefseebecken des Eurasischen Beckens liegen zwischen dem Lomonosov-Rücken und dem eurasischen Kontinentalhang und sind ca. 4000 m tief. Sie werden vom Gakkel-Rücken in das Amundsen-Becken im Norden und das Nansen-Becken im Süden untergliedert.

Das Amerasische Becken schließt sich im Norden an den Lomonosov-Rücken an und wird von den Kontinentalschelfen vor Ostsibirien, Alaska und Kanada begrenzt. Der Alpha- und der Mendeleev-Rücken teilt das Becken in das südlicher gelegene Kanada-

Becken und das nördlicher gelegene Makarov-Becken.

2.4.2 Lage des Gakkel-Rückens

Der Gakkel-Rücken ist Teil der nordamerikanisch-eurasischen Plattengrenze und erstreckt sich über 1800 km vom Lenatrog nördlich der Framstraße bis zum Fuß des Kontinentalrandes der Laptev-See vor der Ostsibirischen Küste (Abb. 2.4). Er ist bis zu den äußeren Flanken durchschnittlich 200 km breit und ragt bis weniger als 1000 m unter der Wasseroberfläche auf. Das für Mittelozeanische Rücken typische Zentraltal ist zwischen 20 km und 40 km breit und westlich von 70° E bis 5500 m tief. Östlich davon ist das Tal zunehmend mit Sedimenten bedeckt und ca. 4000 m tief.

Die 1958 von U-Booten der Vereinigten Staaten entdeckte Rückenstruktur tauchte erstmals in der von *Heezen* und *Ewing* 1961 veröffentlichten bathymetrischen Karte auf (*Weber* 1989[37]). Schon damals waren die Verfasser dieser Karte der Meinung, dass der Gakkel-Rücken die Fortsetzung des mittelatlantischen Rückensystems in den Arktischen Ozean bildet.

3 Erfassung und Bereinigung der hydrographischen Daten

3.1 Beschreibung der Messsysteme

Die Vermessung des Ozeanbodens wurde von dem Forschungsschiff der amerikanischen *Coast Guard* „Healy“ und dem deutschen Polarforschungs- und Versorgungsschiff „Polarstern“ aus durchgeführt. Da als Ergebnis der späteren Auswertung der Vermessung ein gemeinsamer Datensatz entstehen soll, ist es von Bedeutung, die eingesetzten Messsysteme hier kurz zu beschreiben und gegenüberzustellen.

Hydrosweep DS-2

Das Forschungsschiff „Polarstern“ ist seit 1997 mit dem Fächersonar-System Hydrosweep DS-2 des Bremer Unternehmens ATLAS Hydrographics GmbH (vormals STN ATLAS Electronics GmbH) ausgestattet (*Arntz* 1997[3]) und steht in den Diensten des Alfred-Wegener-Institutes Bremerhaven. Einige technische Merkmale sind in Tab. 3.1 zusammengefasst.

Die Hydrosweep-Anlage wurde ausschließlich mit einem Öffnungswinkel von 90° betrieben, während der Messfahrt also nicht auf einen ausgedehnteren Fächer umgeschaltet. Die Kreuzfächerkalibrierung dient der Bestimmung der Refraktionskorrektur des Signalweges. Dazu wird der Schallfächer in die Längsrichtung des Schiffes abgesendet, sodass ein Tiefenprofil gemessen werden kann, das bereits zur Hälfte vom Schiff überfahren wurde. Aus den Differenzen der Vertikallotungen und den Messungen aus dem Kalibrierprofil wird eine mittlere Schallgeschwindigkeit der Wassersäule berechnet, die der tatsächlichen mittleren Wasserschallgeschwindigkeit sehr nahe kommt und zur Refraktionskorrektur genutzt werden kann (*Schenke* 1990[30]). Die zusätzlich gemessenen

Tab. 3.1: Technische Spezifikationen des Fächersonar-Systems Hydrosweep DS-2 (*Atlas* 1997[4])

Sonar-Technik	
Tiefenmessbereich	10 m – 11 000 m
Impulsfrequenz	15.5 kHz
Öffnungswinkel	120° (< 4700 m)/90° (> 10 000 m)
Genauigkeit	< 1.0 % der Wassertiefe
Refraktionskorrektur	CTD-Profil/Schallgeschwindigkeitssensor/ Kreuzfächerkalibrierung
Anzahl der PFB (<i>preformed beams</i>)	59
Öffnungswinkel eines PFB	2.3° im Tiefsee-Messmodus
Navigations-Technik	
Inertialmesssystem	Inertial-Laser-Plattform
Positionsbestimmung	GPS-Navigationssystem
Rechtweisender Kurs	Inertial-Laser-Plattform

Wasserschallprofile mit einer CTD-Sonde vom Typ Seacat SB 19 dienen der Kontrolle der Kreuzfächerkalibrierung. Die Auswertung dieser Kontrollprofile (Anhang C) ergab nur geringe Differenzen zur Kalibrierung des Hydrosweep-Systems, die innerhalb der Messgenauigkeit liegen und aufgrund dessen vernachlässigt werden können.

Die vom Navigationssystem gelieferten Informationen können prinzipiell verschiedenen Quellen entstammen, da sich mehrere Positionierungssysteme an Bord befinden, deren Daten kontinuierlich aufgezeichnet werden. Die Positions- und Lagebestimmung während der Messfahrt lieferte die Inertial-Laser-Plattform MINS (*Marine Internal Navigation System*). Diese verarbeitet die Positionsbestimmung eines Trimble GPS-Empfängers zusammen mit den von der MINS registrierten Beschleunigungen des Schiffes zu einer geglätteten Position, die weitestgehend frei von Ausreißern ist.

Seabeam 2112

Das im Jahre 1999 in Dienst gestellte Forschungsschiff USCGC „Healy“ ist mit dem Fächersonar-System Seabeam 2112 des US-amerikanischen Unternehmens *SeaBeam Instruments* ausgestattet. Einige technische Merkmale sind der Tab. 3.2 zu entnehmen.

Tab. 3.2: Technische Spezifikationen des Fächersonar-Systems Seabeam 2112
(*US Coast Guard* 2002[36])

Sonar-Technik	
Tiefenmessbereich	100 m – 11 000 m
Impulsfrequenz	12.0 kHz
Öffnungswinkel	120° (4500 m)/100° (6000 m)/90° (11 000 m)
Genauigkeit	< 0.5 % der Wassertiefe
Refraktionskorrektur	CTD-Profile/Schallgeschwindigkeitssensor
Anzahl der PFB	121
Öffnungswinkel eines PFB	2.0°
Navigations-Technik	
Inertialmesssystem	TSS-Sensorsystem
Positionsbestimmung	GPS-Navigationssystem
Rechtweisender Kurs	Kreiselkompass

Die Impulsfrequenz von 12 kHz des Seabeam 2112 ist im gleichen Maße wie die um 3.5 kHz höhere Frequenz des Hydrosweep DS-2 für die Tiefseevermessung geeignet. Die höhere Anzahl der PFB (*preformed beams*) des Seabeam 2112 und der etwas kleinere Öffnungswinkel eines PFB von 2.0° verspricht eine bessere Auflösung der Tiefenmessung, da der Abdruck des Schallkegels auf dem Meeresboden (Footprint) dadurch kleiner wird. Andererseits wurde die Messung auf der USCGC „Healy“ mit einem Öffnungswinkel von 120° durchgeführt, woraus eine bedeutende Vergrößerung des Footprints am Rand des Fächers resultiert. Die Refraktionskorrektur durch CTD-Profile ist während dieses Projektes nicht von Vorteil, da die Vermessungen in einem sehr langgestreckten Gebiet stattfinden. Somit werden Informationen über die Wasserschallgeschwindigkeit zur Refraktionskorrektur genutzt, die meistens aus zurückliegenden Gebieten stammen.

3.2 Ablauf der Vermessung

Der Verlauf der Messprofile unterlag den vorherrschenden Eisverhältnissen und wurde mit dem Arbeitsprogramm der anderen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen arrangiert. Vom hydrographischen Standpunkt aus betrachtet, sollten die Profile geradlinig und parallel zueinander in orthogonaler Richtung zur Hangneigung verlaufen. Dadurch wird bei Fächerecholoten eine annähernd konstante Fächerbreite erreicht, wodurch es einfacher ist, an ein so gefahrenes Messprofil ein weiteres anzuschließen und lückenlose

bathymetrische Aufnahmen zu realisieren. Bei einer Fahrt durchs Eis ist es aber nicht möglich, mit dem Schiff geplanten, geradlinigen Profilen zu folgen. Eine eisbrechende Fahrt ist geprägt von einem kurvenreichen Verlauf mit häufig wechselnden Geschwindigkeiten, die um größere Eisschollen herum den so genannten *leads* folgt. Fahrtunterbrechungen entstehen zudem durch die mehrmaligen Vor- und Zurück-Bewegungen beim Eisrammen. Die somit sehr unstetige Fahrtlinie kann sich unter Umständen erheblich von dem geplanten Messprofil entfernen, was eine lückenlose Aufnahme des Meeresbodens sehr erschwert. Das vermessene Gebiet wird zusätzlich durch streckenhaften Datenausfall aufgerissen. Dieser entsteht aufgrund der starken hydroakustischen Störeinflüsse beim Eisbrechen auf das Empfangssignal. Diese Störungen führen prinzipiell zu einer eingeschränkten Datenqualität und haben teilweise den totalen Verlust der Bodenreflexion zur Folge.

Zusätzlich zu den reinen Profilmfahrten müssen aber auch die Situationen betrachtet werden, in denen Messdaten während wissenschaftlicher Stationsarbeiten erfasst wurden. Die äußeren Verhältnisse unterscheiden sich hier von den zuvor beschriebenen Messbedingungen dadurch, dass mit sehr langsamer Geschwindigkeit relativ geradlinig über eine Strecke von einigen Kilometern durch eisfreies Wasser gefahren werden kann. Dadurch ergeben sich für die Tiefenmessung optimale Bedingungen, sodass die aufgezeichneten Bodenechos zu qualitativ hochwertigen Tiefeninformationen mit hoher Punktdichte führen.

3.3 Erwartete Qualität und Quantität der Daten

Wegen der Vielfalt der Bedingungen, unter denen die Daten erfasst wurden, wie auch wegen des großen Tiefenbereiches des Arbeitsgebietes weisen die Messdaten sehr unterschiedliche quantitative Eigenschaften auf. Die Größe des Schallkegels am Meeresboden variiert beim Hydrosweep DS-2 zwischen 80 m in der Mitte des Fächers und 160 m am Rand des Fächers bei einer Wassertiefe von 2000 m. In einer Tiefe von 5000 m vergrößert sich der Durchmesser des Schallkegels auf 200 m bzw. 402 m.

Noch größere Differenzen sind beim Seabeam 2112 aufgrund des größeren Öffnungswinkels zu verzeichnen. Hier liegt die Größe des Footprints im Zentrum des Schallfächers bei 70 m, die sich zum Rand hin auf 280 m vervierfacht (jeweils bei einer Wassertiefe von 2000 m). Der Durchmesser der durch einen Beam überdeckten Fläche steigt bei einer Wassertiefe von 5000 m auf 175 m bzw. 698 m. Da im Messgebiet auch Wassertiefen von weniger als 2000 m und mehr als 5000 m vorkommen, liegt die Variation der Footprintgröße somit bei mehr als dem Zehnfachen.

Ähnlich weit gestreut ist der Abstand der gemessenen Profile in Fahrtrichtung. Bei einer durchschnittlichen Fahrt im Eis mit ca. 6 kn und einer Messwiederholungsrate von 15 Sekunden wird ungefähr alle 45 m ein Profil vom Meeresboden aufgezeichnet. Beträgt die Fahrtgeschwindigkeit dagegen nur 0.5 bis 1 kn, wie während der Stationsarbeiten, verdichtet sich der Profilabstand in Fahrtrichtung auf 5 m und weniger. Die daraus resultierende sehr inhomogene Punktdichte muss ebenso wie die variable Größe des Footprints bei der weiteren Verarbeitung der Daten berücksichtigt werden.

Die zu erwartende Qualität der Tiefenmessung wird sich aufgrund der hydroakustischen Störungen im unteren Bereich der Herstellerangaben bewegen. Hinzu kommt die problematische Situation der Positionsbestimmung im Messgebiet. Begründet ist diese durch die Lage der Satellitenbahnen, auf denen die GPS-Satelliten die Erde umkreisen. Sie führen nicht über die Pole, sondern schneiden die Meridiane und erreichen eine maximale geographische Breite von 55° (*Bauer* 1992[5]). In hohen Breiten sind somit zwar in allen Himmelsrichtungen Beobachtungen zu GPS-Satelliten möglich, jedoch überschreiten die Satelliten selten eine Elevation von 50° (*GIBS* [10]). Diese Konstellation bewirkt einerseits sehr gute Schnittbedingungen für die Bestimmung der horizontalen Position. Andererseits jedoch werden die Satellitensignale durch den schrägen Einfallswinkel in die Atmosphäre stark beeinflusst, was sich negativ auf die Zuverlässigkeit der Messung auswirkt. Die Positionsgenauigkeit wird weiter verschlechtert, da die überregionale Versorgung mit Korrekturdaten durch das SKYFIX-System für eine differenzielle GPS-Lösung im Arbeitsgebiet nicht nutzbar ist (*Thales* 2002[33]). Der Grund dafür liegt darin, dass die begrenzte Reichweite der Inmarsat-Satelliten, über die die GPS-Korrekturdaten ausgesendet werden, den Großteil der arktischen Regionen nicht einschließt.

Während der Reise kam es auf „Polarstern“ zu einem unvorhergesehenen Problem mit der Schiffsnavigationsanlage NACOS (*Integrated Navigation and Command System* der Firma ATLAS Marine Electronics, Bremen). Dieses System unterstützt nur die Navigation zwischen 85° Süd und 85° Nord und schließt somit einen Teil des Arbeitsgebietes aus. Aufgrund dessen wurde das Fächersonarsystem nördlich von 85° N von dem Datenmanagementsystem PODAS (Polarstern-Datenmanagement-System der Firma Werum Software & Systems AG, Lüneburg) mit den notwendigen Navigationsdaten versorgt. Die Zuverlässigkeit der Daten wurde dadurch nicht beeinträchtigt.

3.4 Ablauf und Vorarbeiten der Datenbereinigung

Im Rahmen dieser Arbeit sind 296 Stunden Messfahrt der RV „Polarstern“ und 345 Stunden Messfahrt der USCGC „Healy“ ausgewertet worden.

Die Bearbeitungsschritte der Datenbereinigung sind im Datenflussdiagramm in Abb. 3.1 dargestellt. Sie umfassen die Korrektur der Positions- und der Tiefenmessungen in CARIS HIPS, sowie die Normierung der Tiefen auf eine einheitliche Schallgeschwindigkeit. In den mit einem Stern gekennzeichneten Bearbeitungsschritten werden die Daten vom Benutzer interaktiv bearbeitet. Die Messdaten der Sonar-Systeme liegen in den Rohdatenformaten SURF¹ (Hydrosweep DS-2) und MB41² (Seabeam 2112) vor. Diese werden vom Programm CARIS HIPS eingelesen und in das CARIS HIPS-interne Format HDCS (*Hydrographic Data Cleaning System*) konvertiert. Nach der Messdatenbereinigung erfolgt die Normierung der Tiefen, zu der außer den originalen Tiefen noch Informationen über die Wasserschallgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Tiefenmessung notwendig sind. Diese Daten werden den Messdaten separat entnommen und stehen daraufhin in Form einer SVP-Datei (Seabeam 2112) bzw. einer HYDI-Datei (Hydrosweep DS-2) der Normierung zur Verfügung. Im Anschluss daran dienen die Daten der digitalen Modellierung des Geländes.

Das Programmsystem CARIS HIPS (*Hydrographic Information Processing System*) der Firma CARIS Universal Systems Ltd. stand in der Version 5.1a auf einer Windows 2000 Workstation für die Datenbearbeitung zur Verfügung. Dieses Programm ermöglicht dem Hydrographen durch interaktive und automatische Suchfunktionen die schnelle und systematische Fehlerbereinigung der Fächersonardaten (*CARIS 2001*[11]).

Zur Bearbeitung der Daten ist je eine Konfigurationsdatei für beide Messschiffe notwendig (*vessel configuration file*). Diese Datei kann aus CARIS HIPS heraus angelegt werden. Sie enthält Informationen über alle Sensoren des Messsystems, wie Zentrierungs- und Kalibrierungselemente, die Anzahl der PFB oder das Referenzsystem der Positionsbestimmung. Bei der Konvertierung der Rohdatenformate der Fächersonare in das HDCS Format werden den beiden Konfigurationsdateien die Messdaten des jeweiligen Schiffes zugewiesen. Für das Hydrosweep DS-2 mussten in diese Datei Kalibrierungselemente eingetragen werden, die durch eine Kalibrierungsmessung nach der Expedition ermittelt worden sind. Dadurch wurden alle Messdaten der Hydrosweep-Anlage um einen Rollwinkel von 0.09° und einen Stampfwinkel von -0.13° korrigiert.

¹Das SURF-Format (Sensor-Unabhängiges-Rohdaten-Format) ist ein für alle Fächersonarsysteme von ATLAS-Hydrographics standardisiertes, plattformunabhängiges Datenformat.

²Das Format MB41 wurde von SeaBeam Instruments entwickelt. Es kann bis zu 151 Tiefen- und Amplitudenwerte, sowie 2000 Sidescan-Pixel je Messung enthalten.

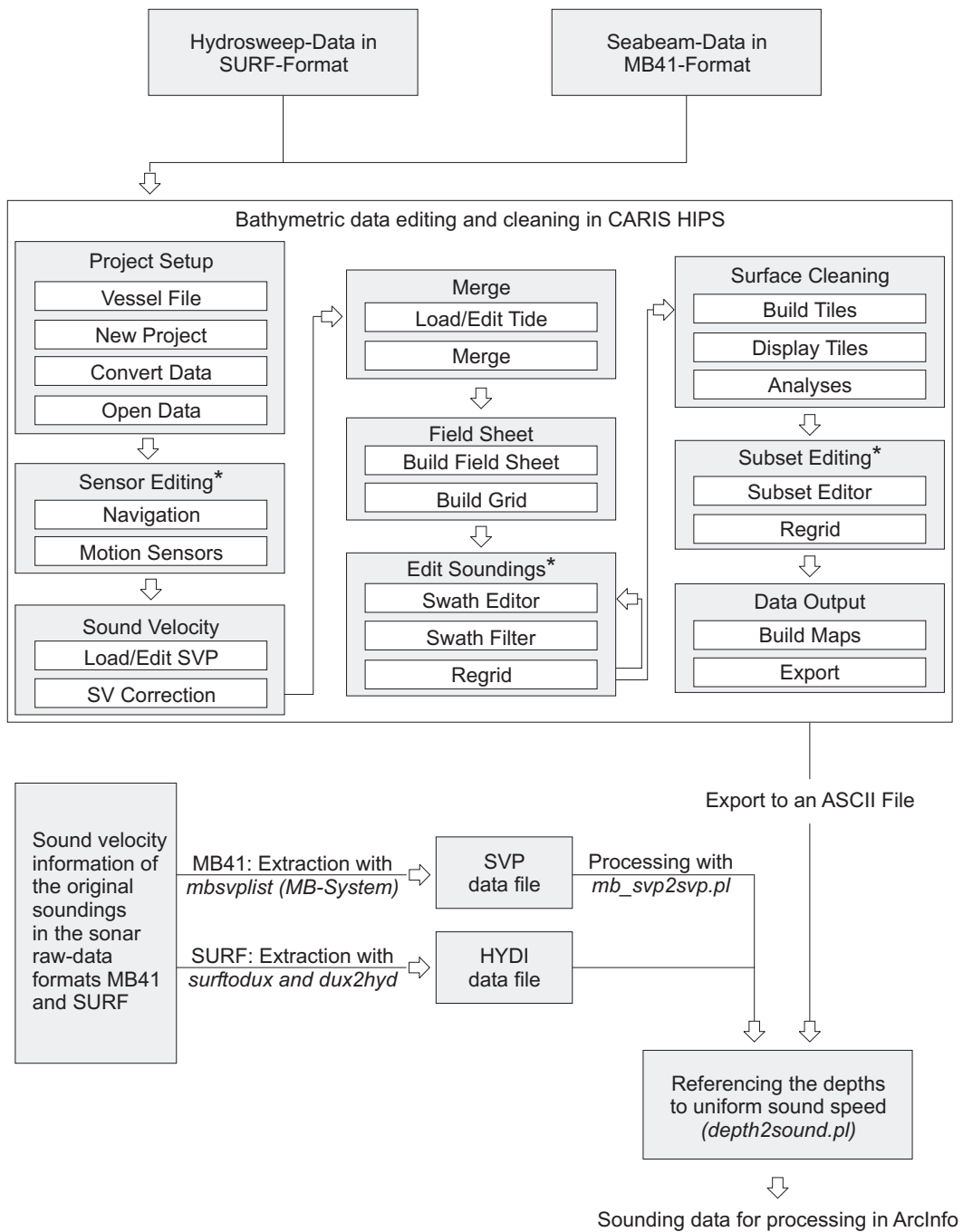


Abb. 3.1: Diagramm der Bearbeitungsschritte vom Rohdatensatz der Sonar-Systeme bis zur Bereitstellung der Messdaten in ArcInfo (* interaktive Bearbeitungsschritte) (nach CARIS 2001[12])

3.5 Positionsdatenbereinigung

Ziel der Bereinigung der Positionsdaten ist es, Fehler bei der Positionsbestimmung zu korrigieren. Im Navigationseditor von CARIS HIPS können die registrierten Positionen graphisch oder mit der Hilfe von Filtern nach Messfehlern durchsucht werden. Ein wichtiges Hilfsmittel ist dabei die *Spike detection*. Dieser Filter berechnet die gefahrene Geschwindigkeit zwischen zwei aufeinander folgenden Messpositionen aufgrund deren zeitlicher und räumlicher Entfernung. Der Anwender kann nun einen Grenzwert zur Plausibilität der Geschwindigkeitsänderung zwischen aufeinander folgenden Punkten angeben. Die *Spike detection* sucht daraufhin nach Geschwindigkeitssprüngen, die größer sind als der festgelegte Grenzwert. Ein sinnvoller Grenzwert lag zwischen 6 und 8 kn bei normaler Fahrt und bei 2 bis 4 kn auf Stationsfahrt. Bei der Suche nach Ausreißern gilt ein Punkt als fehlerhaft, wenn er von der vermutlichen Schiffposition um einen deutlich größeren Betrag als die erwartete Messgenauigkeit von 20 m abweicht. Anstelle einer fehlerhaften Messung kann daraufhin eine neue Schiffposition zwischen den korrekten Positionsmessungen interpoliert werden oder aber die Fehlmessung wird ersatzlos verworfen.

Bei der Gegenüberstellung der Qualität der Navigationsdaten beider Messsysteme traten Unterschiede auf, die im Folgenden näher betrachtet werden.

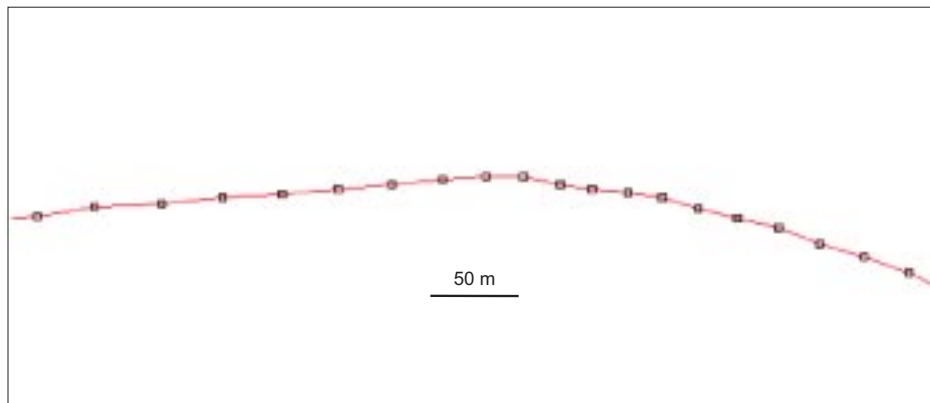


Abb. 3.2: Beispiel der guten Qualität der Hydrosweep DS-2-Positionsdaten

Die Abb. 3.2 zeigt einen Ausschnitt der Positionierungsdaten des Hydrosweep-Systems vom 8.8.2001 bei $84^{\circ} 50' N$. Der gleichmäßig geschwungene Verlauf der Messpunkte spiegelt die gute Qualität der Navigationsdaten wider. Somit reichte für die Kontrolle der Positionsmessungen in einem Zeitraum von 24 Stunden ein vergleichsweise geringer Zeitaufwand von ca. 15 Minuten.

Bei der Darstellung der Positionen des Seabeam 2112 (Abb. 3.3) in einem ähnlichen

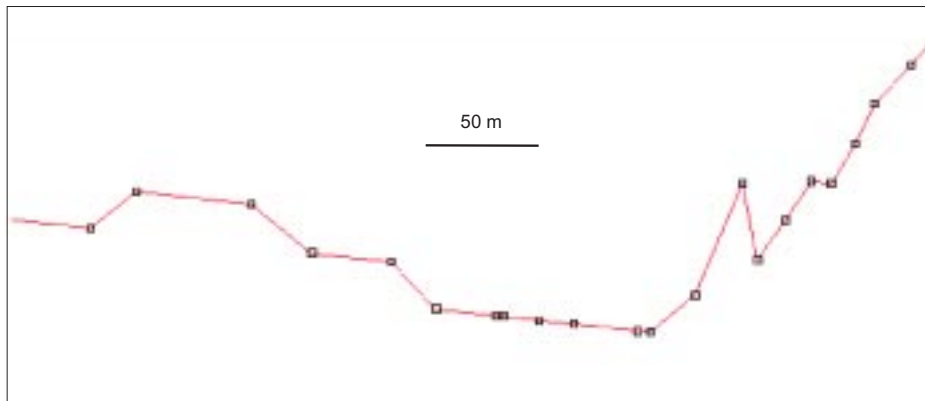


Abb. 3.3: Beispiel der fehlerhaften Positionsdaten des Seabeam 2112

Ausschnitt fällt die geringere Datenqualität auf. Häufig mussten hier Ausreißer aus dem Datensatz eliminiert werden. Die Gründe dafür sind in den, in Kapitel 3.3 genannten, ungünstigen Messbedingungen im Arbeitsgebiet zu vermuten. Der deutliche Qualitätsunterschied zwischen den verwendeten Systemen liegt wahrscheinlich darin, dass die vom GPS-System bestimmten Positionsdaten beim Seabeam-System nicht durch hochgenaue Schiffslagedaten geglättet werden, wie es beim Hydrosweep-System erfolgt. Somit vergrößerte sich der Zeitaufwand, der zur Bereinigung der Navigationsdaten erforderlich war, auf ca. 2 Stunden je Messtag.

3.6 Tiefendatenbereinigung

Vor der Bereinigung der Echolotungen wird den Messdaten eine Tide-Datei zugeordnet, die Informationen über die Wasserstandsschwankungen durch die Gezeiten enthält. Da in der Tiefseevermessung der Tidenhub im Verhältnis zu der Tiefenmessgenauigkeit sehr gering ist, wird dieser bei der Tiefenberechnung nicht berücksichtigt. Um der Forderung des Programmes nach einer Tide-Datei nachzukommen, wurde ein Tidenhub von null Metern angenommen.

Die Editierung der Tiefendaten wird in zwei Stufen realisiert. Zum einen durch die visuelle Kontrolle der Messungen im *Swath Editor* und zum anderen durch eine automatische Bereinigung im *Surface Cleaning* (vgl. Abb. 3.1).

3.6.1 Bereinigung im Swath Editor

Der *Swath Editor* dient dazu, die Tiefenmessungen graphisch darzustellen und auf Grundlage der nachbarschaftlichen Verhältnisse auf Plausibilität zu prüfen. Bei Fehlmessungen kann wie im Positionseditor interpoliert werden oder aber die Messungen werden verworfen. Neben der profilweisen Darstellung der Messungen ist es möglich, diese in einem digitalen Geländemodell zu verarbeiten und in einer schattierten Ansicht auf dem Bildschirm auszugeben. Dadurch sind grobe Messfehler leicht ersichtlich und die absolute Lage des Messfächers wird erkennbar. Die Suche nach Ausreißern läuft auch hier mit Filtern teilweise automatisiert ab. Die Filter, die im *Swath Editor* zur Verfügung stehen, werden in Filterarten unterschieden, die zum:

- Auffinden von Fehlmessungen
- Reduzieren der Datenmenge
- Auffinden von Messungen mit geringer Qualität

dienen. Die Filter zum Auffinden von Fehlmessungen wurden bei der Dateneditierung permanent eingesetzt. Die verwendeten Parameter dieser Filter sind in Tab. 3.3 aufgeführt. Die Einstellungen des Filters *Beam to Beam slopes* variieren je nach Geländerauigkeit und Punktdichte.

Tab. 3.3: Filtereinstellungen bei der Tiefendateneditierung im *Swath Editor*

Filter	Hydrosweep DS-2	Seabeam 2112
Tiefenbereich	1000 m – 5800 m	1000 m – 5800 m
Beam to Beam slopes		
across	15° – 25°	10° – 20°
along	40° – 80°	30° – 70°

Die Filter zum Reduzieren der Datenmenge wurden ausschließlich in konkreten Fällen eingesetzt. Bei geringer Datenqualität zum Beispiel wurden mit dem Filter *Beam numbers* die äußeren Messpunkte des Profils verworfen. Diese Filtermöglichkeit wurde außerdem genutzt, wenn sich qualitativ höherwertige Tiefenmessungen aus der Mitte des Messfächers mit den Tiefenmessungen aus dem Randbereich eines benachbarten Fächers überdeckten. Die Filter zum Auffinden von Messungen mit geringer Qualität wurden nicht eingesetzt, da die verwendeten Sonarsysteme keine interne Qualitätskontrolle liefern.

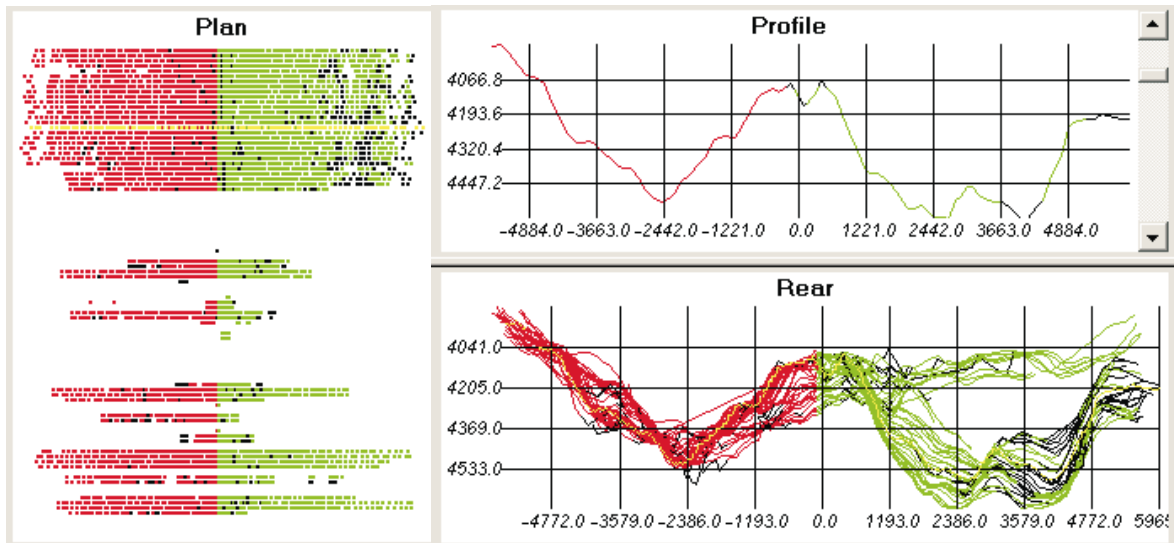


Abb. 3.4: Beispiel der häufig unvollständigen Messprofile in den Tiefendaten des Seabeam 2112

In Abb. 3.4 ist in der *Plan*-Darstellung der Tiefendaten des Seabeam 2112 zu erkennen, dass relativ wenig Tiefen verworfen werden mussten (schwarze Punkte). Jedoch sind viele Messprofile aufgrund der starken Störungen während der Vermessung nur lückenhaft aufgezeichnet. Die beiden Ansichten *Profile* und *Rear* stellen die Messprofile im Relief dar, wobei im oberen Fenster nur das aktuelle und im unteren Fenster das aktuelle Profil im Zusammenhang mit den vorhergehenden und nachfolgenden Messungen zu sehen ist. Dabei markiert die grüne Farbe stets die steuerbordseitige Hälfte des Fächers und die rote Farbe die Messungen in Richtung der linken Seite des Schiffes.

Die Darstellung der Messergebnisse des Hydrosweep DS-2 (Abb. 3.5) zeigt, dass darin bedeutend mehr fehlerhafte Messpunkte enthalten sind. In der *Profile*-Ansicht ist ein typischer Messfehler dargestellt, bei dem das gesamte Messprofil verworfen werden muss. Ursache dieser Fehlmessung sind auch hier hydroakustische Störungen durch die Fahrt im Eis. Die zur Verfügung stehenden Filter können die meisten Fehltiefen solcher Profile eliminieren, jedoch verbleibt ein gewisser Anteil, der nur von Hand zu editieren ist.

Die benötigte Zeitdauer, um einen Messzeitraum von einem Tag zu bearbeiten, betrug ca. 10 Stunden. Sie ist bei den Daten des Seabeam 2112 nur wenig länger als bei den Aufzeichnungen des Hydrosweep DS-2, obwohl mit jedem Messprofil der Seabeam-Anlage doppelt so viele Tiefenmessungen kontrolliert wurden. Somit beansprucht die Bereinigung der Hydrosweep-Messungen, auf die Anzahl der Tiefenmessungen gerechnet, annähernd doppelt soviel Zeit im Vergleich zu den Seabeam-Messungen.

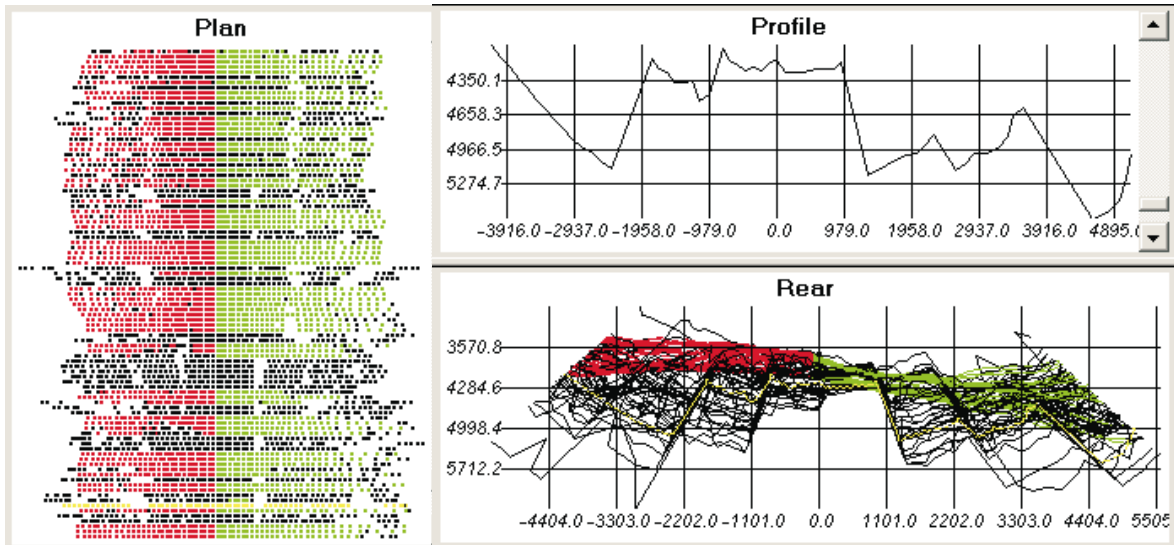


Abb. 3.5: Beispiel des hohen Anteils fehlerhafter Messungen in den Tiefendaten des Hydrosweep DS-2

3.6.2 Bereinigung durch Surface Cleaning

Das *Surface Cleaning* bietet die Möglichkeit, durch statistische Analyse der Tiefendaten Ausreißer zu finden und zu eliminieren. Fehler in der Tiefenmessung werden erkannt, wenn der Abstand eines Messpunktes von einer berechneten Oberfläche eine bestimmte Toleranzgrenze überschreitet.

Zu diesem Zweck wird das Messgebiet in einem iterativen Prozess in *Tiles* (quadratische Flächen, Kacheln) unterteilt. Die Parameter für die Berechnung der *Tiles* sind die minimale Kantenlänge und die minimale Anzahl an Messwerten, die sich innerhalb der unterteilten Flächen befinden müssen. Auf der Grundlage der Messpunkte wird für jedes der *Tiles* eine polynomiale Fläche berechnet, deren Grad der Anwender festlegt. Die aus dem Abstand der Messpunkte von der Fläche berechneten Residuen sind ausschlaggebend für die Bewertung der Zuverlässigkeit der Tiefenmessung.

Die Parameter, die sich bei diesem Vermessungsprojekt für das *Surface Cleaning* eignen, wurden in mehreren Testgebieten mit unterschiedlicher Topographie ermittelt. In der Folge wurden die *Tiles* mit einer minimalen Punktzahl von 200 Lotungen und einer minimalen Kantenlänge von ca. 81 m berechnet. Aufgrund der starken Geländerauigkeit im Arbeitsgebiet diente ein kubisches Polynom zur Berechnung der Oberfläche. Bei der Bereinigung der Messwerte wurden alle Punkte, die sich mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 99.74% als grobe Fehler erwiesen, verworfen.

In der Abb. 3.6 wird das Ergebnis des *Surface Cleaning* verdeutlicht. Im Histogramm

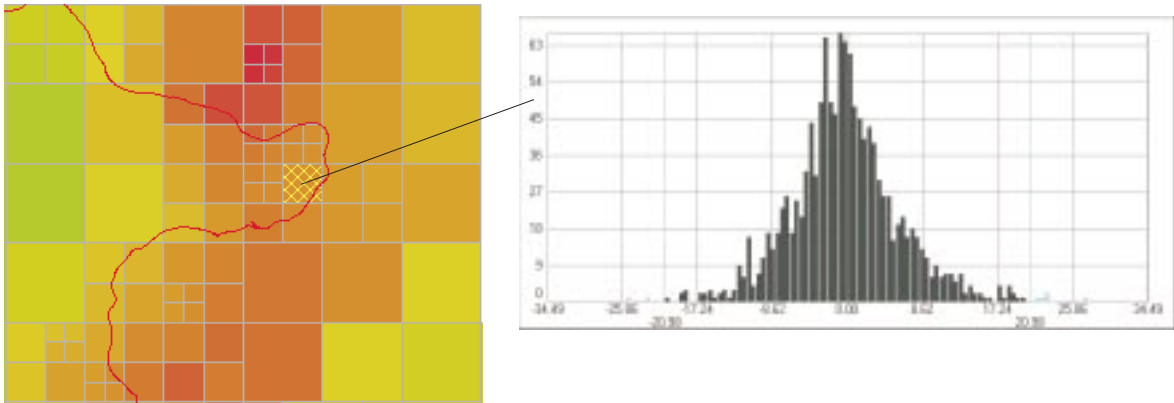


Abb. 3.6: Beispiel der Zerlegung des Arbeitsgebietes in *Tiles* und Histogramm der statistischen Analyse einer Zelle

ist die Normalverteilung der Residuen eines *Tiles* ersichtlich. Im vorliegenden Beispiel liegt der Grenzwert für die Eliminierung eines Messpunktes bei einer Residue von ca. 20 m. Er bewirkt hier die Abweisung von etwas weniger als 10 Messpunkten. Bei ca. 1200 Messwerten, die in diesem *Tile* ausgewertet wurden, entspricht das einem Anteil von rund 1%. Dieser Wert gibt repräsentativ das Ergebnis der Oberflächenanalyse für das gesamte Arbeitsgebiet wieder.

Die Parameter des *Surface Cleaning*, insbesondere der Grenzwert, ab dem Messungen verworfen werden, wurden sehr sorgfältig gewählt. In den Testgebieten hat sich gezeigt, dass kleine Geländestrukturen bei geringen Grenzwerten sehr schnell als Ausreißer fehlinterpretiert werden. Das Prinzip der Datenbereinigung mit statistischen Ansätzen ist sehr hilfreich, muss aber noch besser umgesetzt werden. Bei der verwendeten Programmversion CARIS HIPS 5.1a verursachte die Berechnung des *Surface Cleaning* häufig Systemabstürze, sodass die Prozessierung in mehreren Teilgebieten getrennt erfolgen musste. Die Bearbeitung eines von vier Teilgebieten benötigte einen Zeitraum von ca. 12 Stunden³.

Ein weiterer Nachteil ist, dass die Messungen der Fächersonarsysteme nicht in einem gemeinsamen Prozess im *Surface Cleaning* bereinigt werden können. Grund dafür ist, dass es im Programmsystem CARIS HIPS keine Möglichkeit gibt, die Tiefenmessungen auf eine einheitliche Wasserschallgeschwindigkeit zu normieren (vgl. Kap. 3.8). Der daraus resultierende Höhenversatz bedingt die getrennte Bereinigung der Messdaten beider Messsysteme und wird im Anschluss an die Datenbereinigung durch die Referenzierung der Tiefen auf eine einheitliche Schallgeschwindigkeit korrigiert.

³Die Berechnung wurde auf einer PC-Workstation vom Typ Compaq Evo W8000 (CPU: Intel(R) Xeon(TM) 2.0 GHz, RAM: 512 MB ECC RDRAM) durchgeführt.

3.7 Fazit der Datenbereinigung in CARIS HIPS

Mithilfe der Exportfunktion in CARIS HIPS wurden die nun bereinigten Tiefen spaltenorientiert in ASCII-Dateien geschrieben. Jede Zeile dieser Dateien enthält (der Reihenfolge nach) eine fortlaufende Indexnummer, die Koordinaten des Tiefenwertes im gewählten Abbildungssystem, die Koordinaten des Tiefenwertes im System WGS 84, die Wassertiefe, das Datum und die Uhrzeit, den Projektnamen, den Schiffsnamen, den Namen des Datensatzes, die Nummer des Messprofils im Datensatz, die Beam-Nummer im Messprofil, die Amplitude, die Tide, die Systemgenauigkeit und den Systemstatus. Für die weitergehende Auswertung sind von diesen 19 Spalten nur die Koordinaten des Tiefenwertes im System WGS 84, die Wassertiefe, sowie das Datum und die Uhrzeit von Interesse. Die Koordinaten sowie die Wassertiefe liegen in Zentimeter-Auflösung vor.

Aus der Differenz der Anzahl der bereinigten Tiefen und der Anzahl der abgesendeten und mit der Beam-Anzahl multiplizierten Schallfächer kann eine Aussage über die Menge der verworfenen Messungen getroffen werden.

Die Hydrosweep-Anlage sendete im Bearbeitungszeitraum zwischen dem 8. August 2001 08:00 Uhr und dem 20. August 2001 24:00 Uhr ca. 79 600 Messfächer aus (dies entspricht einer durchschnittlichen Messwiederholrate von ca. 13 Sekunden). Daraus resultiert eine Anzahl von ca. 4 697 000 Einzeltiefen, von denen rund 19 % nicht zur weiteren Auswertung genutzt werden können.

Im Bearbeitungszeitraum des Seabeam 2112 vom 08.08.2001 06:00 Uhr bis 22.08.2001 16:00 Uhr wurden ca. 108 300 Messfächer abgesendet (dies entspricht einer durchschnittlichen Messwiederholrate von ca. 12 Sekunden), woraus sich eine Anzahl von rund 13 110 000 Einzeltiefen ergibt. Zur weiteren Auswertung stehen allerdings 36 % der Messwerte nicht zur Verfügung.

Trotz des höheren Prozentsatzes der nicht-nutzbaren Messungen der Seabeam-Anlage mussten während der Datenbereinigung weniger Messungen verworfen werden als beim Hydrosweep-System. Grund dafür war, dass das Seabeam 2112 sehr häufig keine Bodenreflexion aufzeichnen konnte und somit viele Schallfächer aus weniger als 121 PFB bestanden. Ursache der schlechteren Datenqualität ist unter anderem, dass die Messungen des Seabeam häufig durch ungünstigere Messbedingungen beeinflusst waren, nämlich immer dann, wenn die USCGC „Healy“ der „Polarstern“ den Weg durch das Eis brach.

3.8 Normierung der Wassertiefen

Die Tiefenmessung mit Echoloten beruht auf der Bestimmung der Schalllaufzeit, die das abgesendete akustische Signal benötigt, um die Entfernung vom Schallwandler zum Meeresboden und zurück zu durchlaufen. Um aus der gemessenen Zeit auf die durchlaufene Strecke schließen zu können, ist die Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls im Wasser notwendig. Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit dienen beim Seabeam 2112 die Messungen einer CTD-Sonde. Das Hydrosweep DS-2 dagegen berechnet die mittlere Schallgeschwindigkeit der Wassersäule aus der geräteinternen Kreuzfächerkalibrierung. Die Verwendung verschiedener Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit führt dazu, dass den Tiefenmessungen am selben Ort verschiedene Schallgeschwindigkeiten zugrunde liegen. Dieses führt zu einer vertikalen Verschiebung des Tiefenhorizontes, sodass die Tiefendaten beider Echolote nicht in einem gemeinsamen Datensatz ausgewertet werden könnten.

Um diese Verschiebung zu korrigieren, werden im folgenden Arbeitsschritt die gemessenen Tiefen auf die einheitliche Schallgeschwindigkeit c_{ref} von $1500 \frac{m}{s}$ normiert, wie in Abb. 3.7 dargestellt.

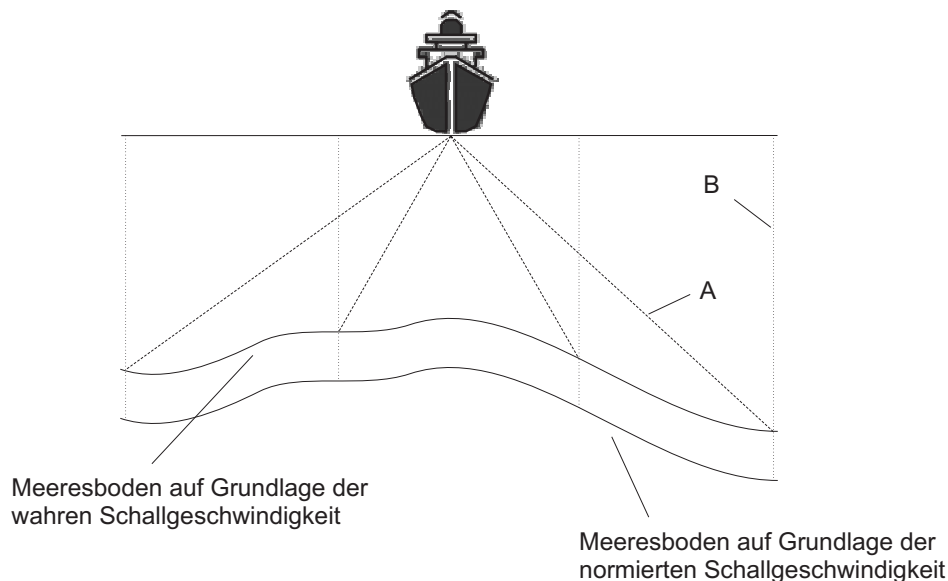


Abb. 3.7: Korrektur der Verschiebung des Tiefenhorizontes durch die Normierung der Tiefenmessung auf eine einheitliche Schallgeschwindigkeit

Im üblichen Datenfluss in der „Arbeitsgruppe Bathymetrie“ am AWI wird die Normierung parallel mit einer Formatkonvertierung vollzogen. Da aufgrund der nachträglichen Roll- und Stampfkorrektur (vgl. Kap. 3.4) die Daten des Hydrosweep DS-2 nicht auf dem üblichen Weg prozessiert wurden und auch für die Daten des Seabeam 2112 auf-

grund des Datenformates die bestehenden Routinen zur Normierung der Tiefen nicht anwendbar sind, musste die Umrechnung der Tiefen im Rahmen dieser Arbeit neu umgesetzt werden.

Dazu wurde das Programm *depth2sound.pl* in der Programmiersprache *perl* erstellt (Anhang D). Dieses berechnet aus der Tiefe d und der mittleren Schallgeschwindigkeit c_{mean} , die dieser Tiefenmessung zugrunde liegt, nach Formel 3.1 die Pseudo-Schalllaufzeiten t_{pseudo} .

$$t_{pseudo} = \frac{d}{c_{mean}} \quad (3.1)$$

Diese Laufzeit entspricht nicht der tatsächlichen Schalllaufzeit, da sie den senkrechten Weg des Schalls durch das Wasser repräsentiert (Linie B in Abb. 3.7) und nicht den schrägen Weg zum Schallwandler des Echolotes (Linie A in Abb. 3.7). Aus dieser Pseudo-Schalllaufzeit wird mit Formel 3.2 unter Verwendung der einheitlichen Schallgeschwindigkeit c_{ref} die normierte Tiefe d_{ref} berechnet.

$$d_{ref} = t_{pseudo}c_{ref} \quad (3.2)$$

Die dazu notwendige Information über die originale Schallgeschwindigkeit c_{mean} wurde auf zwei verschiedenen Wegen ermittelt:

Hydrosweep: Das Fächersonarsystem Hydrosweep DS-2 speichert die aktuelle mittlere Schallgeschwindigkeit im SURF-Format ab. Nachdem ein Datensatz aus dem SURF-Format in das DUX⁴-Format konvertiert wurde, konnte mit dem am AWI verfügbaren Programm *dux2hyd* aus der Datei im DUX-Format die mittleren Schallgeschwindigkeiten eines Datensatzes in eine separate HYDI-Datei extrahiert werden. In der HYDI-Datei steht daraufhin das c_{mean} für den direkten Zugriff durch das Programm *depth2sound.pl* zur Verfügung.

Seabeam: Die Rohdaten des Fächersonarsystems Seabeam 2112 enthalten dagegen nicht die mittlere Schallgeschwindigkeit, sondern ein Schallgeschwindigkeitsprofil. Dieses kann mit der Funktion *mbsvplist* des Programmsystems MB-System⁵

⁴Das DUX-Format diente vor der Einführung des SURF-Formates zur Verwaltung der Messdaten des Hydrosweep DS-2-Fächersonarsystems und wird aufgrund seiner einfachen Struktur noch heute am Alfred-Wegener-Institut genutzt.

⁵Das Public-Domain-Programm MB-System ist eine umfangreiche Zusammenstellung von Funktionen zur Prozessierung und Visualisierung von Fächersonardaten, die am Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, USA, entstand (<http://www.ldeo.columbia.edu/MB-System>).

extrahiert und in einer SVP-Datei (*Sound Velocity Profile*) gespeichert werden. Um die Schallprofile, die daraufhin in tabellarischer Form in vielen einzelnen SVP-Dateien gespeichert waren, in jeweils eine Zeile einer neuen Datei zu schreiben, wurde das Programm *mb_svp2svp.pl* (Anhang E) erstellt. Um ein einheitliches Intervall der Stützpunkte für alle Profile zu gewährleisten und jeder Tiefe die entsprechende mittlere Schallgeschwindigkeit zuordnen zu können, wurden die Schallgeschwindigkeiten in einem interpolierten Stützpunktabstand von 1 m abgelegt. Auf die so formatierten und nach der zeitlichen Reihenfolge sortierten Schallprofile kann aus dem Programm *depth2sound.pl* zugegriffen werden, um aus dem aktuellen Schallprofil durch das arithmetische Mittel das c_{mean} der jeweiligen Tiefe zu berechnen.

Die Zuordnung eines Wasserschallprofiles bzw. einer mittleren Wasserschallgeschwindigkeit c_{mean} zu den gemessenen Tiefen erfolgt jeweils durch die Zeit. Dabei wird eine Wasserschallinformation so lange zur Berechnung der normierten Tiefen verwendet, bis der Zeitpunkt der folgenden Schallinformation erreicht ist. Es erfolgt also keine lineare Interpolation, da die Berechnung der ursprünglichen Tiefen nach dem gleichen Prinzip erfolgte. Die Originaltiefen und deren Messzeitpunkte entstammen den Dateien, die durch die Exportfunktion von CARIS HIPS erstellt wurden. Die normierten Tiefen liegen nach dem *depth2sound.pl*-Programmdurchlauf zusammen mit deren geographischen Positionen in dreispaltigen ASCII-Ausgabedateien vor, wie sie im nachfolgenden Ausschnitt aus einer solchen Datei zu sehen sind.

```
-5.1309375  82.7980683  -4054.8
-5.1345836  82.7982247  -4237.3
-5.1404041  82.7984569  -4392.9
-5.1530544  82.7989250  -4440.6
-5.1616905  82.7992538  -4549.4
-5.1686427  82.7995250  -4688.5
-5.1786902  82.7999013  -4771.1
-5.1861936  82.8001913  -4903.3
-5.1961561  82.8005647  -4985.6
-5.2104141  82.8010808  -4966.2
```

Die erste Spalte enthält die geographische Länge, die zweite die geographische Breite und die letzte die normierte Wassertiefe. Die Positionen sind weiterhin in Zentimeter-Auflösung angegeben (vgl. Kap. 3.7), wogegen die Auflösung der Wassertiefe nach der Neuberechnung auf den Dezimeter-Bereich verringert wurde.

4 Digitale Modellierung des Geländes

4.1 Koordinatentransformation

Das Geographische Informationssystem (GIS) ArcInfo diente der Berechnung des digitalen Geländemodells. Das aus umfangreichen Modulen zur Editierung, Verarbeitung und Visualisierung von Geodaten bestehende Programmsystem der Firma ES-RI Geoinformatik GmbH steht am Alfred-Wegener-Institut zur Datenbearbeitung zur Verfügung.

Zur Berechnung des Modells ist die Transformation des Koordinatensystems der Messdaten notwendig. Die geographischen Koordinaten der Messpunkte eignen sich nicht für die Berechnung eines regelmäßigen Rasters.

Mit der Funktion *project* wurden die Messdaten in kartesische Koordinaten im konformen konischen Abbildungssystem nach Lambert transformiert. Diese winkeltreue Projektion ist durch die Festlegung von zwei längentreuen Parallelkreisen zur Abbildung des Gakkel-Rückens geeignet, da somit eine homogene und verzerrungsarme Darstellung in dem besonders lang gestreckten Arbeitsgebiet in hoher geographischer Breite gewährleistet werden kann (*Hake & Grünreich 1994*[17]). Die längentreuen Parallelkreise wurden anhand der geographischen Lage des Gakkel-Rückens so gewählt, dass die Verzerrungen durch die Projektion zu einem Minimum werden. Sie liegen bei $85^{\circ} 57' N$ und $83^{\circ} 43' N$. Für die spätere Kartendarstellung wurden aus anschaulichen Gründen längentreuen Parallelkreise gewählt, die geraden Breitenkreisen entsprechen.

Um die Messdaten in ein *point coverage*¹ einzulesen, sind Änderungen im Dateiformat der Messdaten notwendig. Diese wurden mithilfe der Funktion *awk*, die vom Unix-Betriebssystem zur Verfügung gestellt wird, durchgeführt.

¹ Ein *coverage* ist ein ArcInfo-Datengerüst, in dem Vektordaten mit verschiedenen Eigenschaften abgelegt werden (Punkte, Linien, Polygone usw.). Diese Daten können durch die Zuweisung von zusätzlichen Attributen näher beschrieben werden.

4.2 Interpolation durch Inverse Distance Weighting

Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse, die *Jacops* (2001[19]) beim Vergleich verschiedener Interpolationsmethoden mit Daten ähnlicher Struktur (vgl. Kap. 3.3) erzielte, dient das *sample*-Verfahren der ArcInfo-Funktion *Inverse Distance Weighting* (IDW) zur Berechnung der Rasterpunkte des Geländemodells. Hierbei handelt es sich um ein gewichtetes lineares Interpolationsverfahren, welches aus einer bestimmten Gruppe von Datenpunkten die Höhe der Rasterpunkte ableitet. Die Gewichtung einer Tiefenmessung (*power*) ist dabei umgekehrt proportional zu der Entfernung zum Rasterpunkt. Die Menge der Punkte, die zur Berechnung der Rasterpunkthöhe hinzugezogen werden, wird beim *sample*-Verfahren der IDW-Interpolationsfunktion von zwei Faktoren bestimmt: der Punktzahl und dem maximalen Radius. Dabei wird die Anzahl der Messpunkte (*num_points*) von der Entfernung zum Rasterpunkt durch den maximalen Radius (*max_radius*) eingeschränkt (vgl. Abb. 4.1).

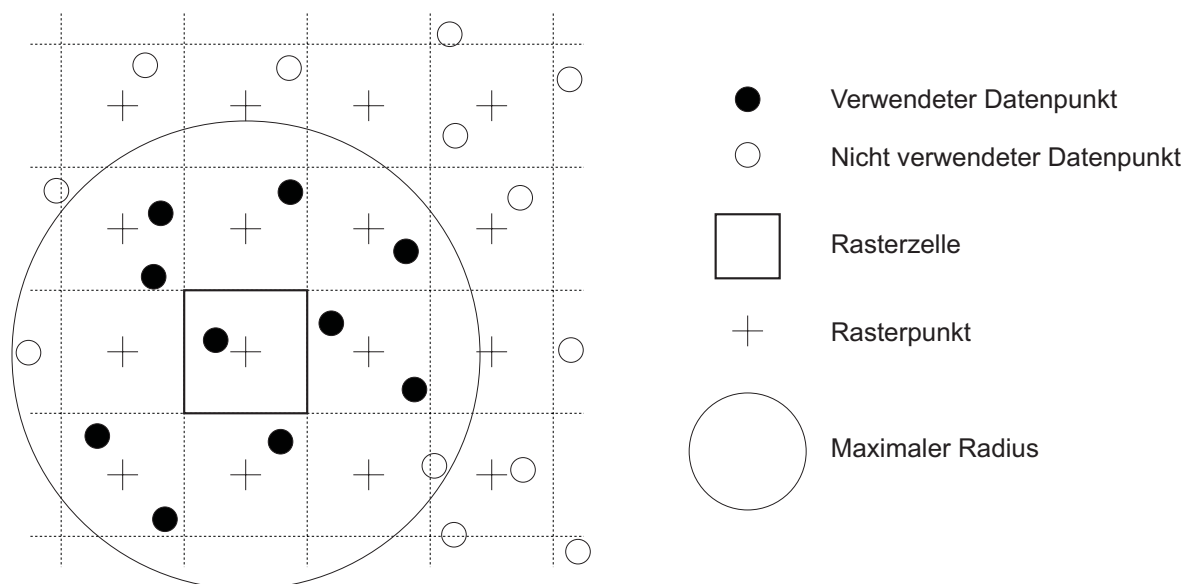


Abb. 4.1: Interpolation der Rasterpunkthöhe durch *Inverse Distance Weighting* im *sample*-Verfahren unter Verwendung von 10 Datenpunkten

Die Vorteile dieser Interpolationsfunktion sind, dass die Berechnung relativ einfach ist und sie somit auch bei großen Datenmengen mit einem angemessenen Zeitaufwand realisiert werden kann. Zudem eignet sie sich auch zur Verarbeitung von Daten mit inhomogener Stützpunktdichte. Somit können alle gemessenen Daten zur Auswertung herangezogen werden, ohne zuvor die Dichte der Messpunkte in Teilen des Messgebietes zu reduzieren.

4.3 Ermittlung der Interpolationsparameter in einem Testgebiet

Die Parameter zur Erstellung des Geländemodells im Interpolationsverfahren IDW sind der Abstand zwischen den Gitterpunkten, die Gewichtung der Tiefenmessungen und die Menge der Messpunkte, die zur Berechnung eines Gitterpunktes verwendet werden. Das Ziel der Berechnung des Geländemodells ist, die Topographie des Meeresbodens im Rahmen der Messgenauigkeit bestmöglich abzubilden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die dazu geeigneten Berechnungsparameter in einem Testgebiet ermittelt werden.

Das ausgewählte Testgebiet repräsentiert die Topographie und die Messdatenstruktur des Arbeitsgebietes (Abb. 4.2, vergrößerte Darstellung vgl. Abb. B.1). Im Bild A zeigen die dunklen Flächen eine hohe Punktdichte an. Die blaue Linie markiert die Fahrstrecke der RV „Polarstern“, die rote Linie die der USCGC „Healy“. Das Bild verdeutlicht eine breite Streuung der Punktdichte im Testgebiet, sowie einen gleichmäßigen Anteil von Messdaten beider Fächersonaranlagen. Das Bild B zeigt die Präsenz von steilen Hängen sowie ebenen Gebieten im Messgebiet. Die Wassertiefen liegen zwischen 2400 m und 4600 m.

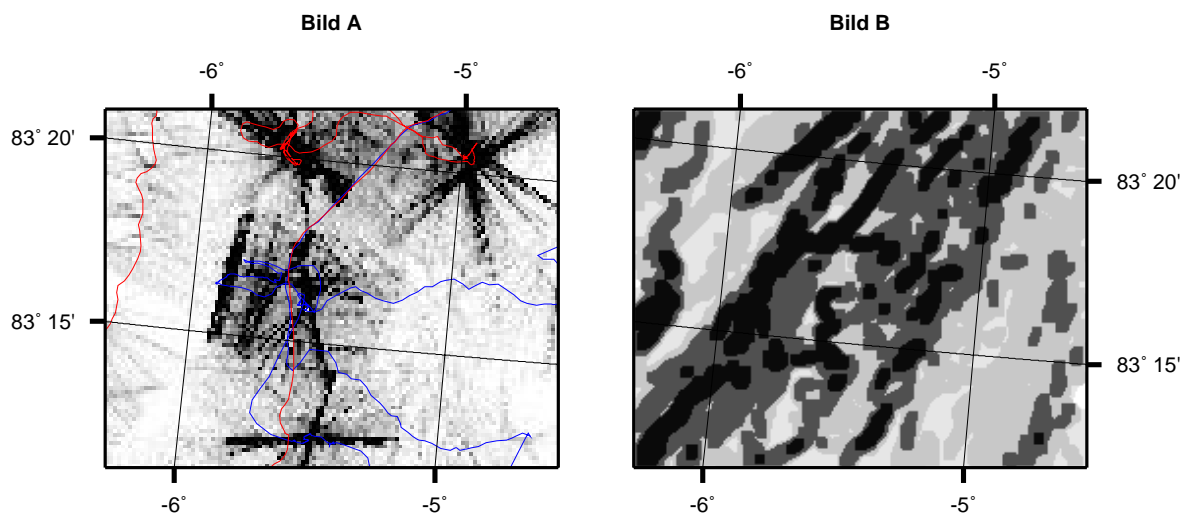


Abb. 4.2: Punktdichte und Fahrtlinien der Vermessungsschiffe im Testgebiet (Bild A) und Hangneigung in vier Klassen von $< 10^\circ$ bis $> 45^\circ$ (Bild B)

4.3.1 Abstand der Gitterpunkte

Der Abstand der Gitterpunkte bestimmt, wie detailliert die Oberfläche des Geländes im Modell wiedergegeben wird (Auflösung des DGM). Je größer der Abstand der Gitterpunkte gewählt wird, umso stärker wird das Modell geglättet. Die Auflösung des DGM wird somit durch die Rauigkeit des Geländes bestimmt, muss aber auch die Auflösung der Messwerte widerspiegeln. Die Auflösung der Messwerte ist in erster Linie von der Größe des Schallkegels auf dem Meeresgrund abhängig. Diese variiert (vgl. Kap. 3.3) bei den vorliegenden Messdaten zwischen ca. 70 m und 700 m.

Um unter Berücksichtigung dieser großen Veränderlichkeit das Geländemodell optimal zu berechnen, müsste, abhängig von der Tiefe und der Lage der Messpunkte im Schallfächer, der Abstand der Gitterpunkte ebenso variieren. Da der Aufwand einer solchen Berechnung aber sehr groß wäre, ist eine Gitterweite zu wählen, die hinsichtlich der Auflösung der Messdaten in verschiedenen Tiefen des Messgebietes und der Rauigkeit des Geländes eine vermittelnde Lösung findet. Die Rasterweite wurde auf 100 m festgelegt und liegt damit an der unteren Grenze der Auflösung der Messwerte. Ein größerer Abstand der Rasterpunkte dagegen hätte das Modell zu stark geglättet, sodass kleine topographische Strukturen nicht mehr darstellbar gewesen wären.

4.3.2 Gewichtung und Auswahl der Messpunkte

Die Anzahl der Messwerte, die zur Berechnung eines Rasterpunktes dienen, sowie deren Gewichtung und maximale Entfernung nimmt ebenfalls Einfluss auf die Glättung des DGM. Durch einen großen Gewichtungsfaktor (> 2) wird der Einfluss der nahe an den Gitterpunkten liegenden Messwerte erhöht, wohingegen sich der Einfluss der entfernt liegenden Messpunkte verringert. Ein geringer Gewichtungsfaktor bewirkt somit eine stärkere Glättung. Die Wahl einer hohen Anzahl Messpunkte, die weit um den Rasterpunkt herum verteilt sind, erhöht den Einfluss entfernt liegender Punkte und trägt zur weiteren Glättung des Modells wie auch zur Unterdrückung des Messrauschens bei.

In Abb. 4.3 sind im Bild A die Isolinien zweier DGM dargestellt, die mit verschiedenen Parametern berechnet wurden. Die Parameter des in rot dargestellten DGM-1 und des in schwarz dargestellten DGM-2 sind in der Tab. 4.1 aufgeführt. Das DGM-1 wurde so berechnet, dass nur die Messpunkte, die in unmittelbarer Nähe zum Gitterpunkt liegen, Einfluss auf dessen Berechnung hatten. Dadurch ist die Glättung des Modells minimal, der Einfluss des Messrauschens jedoch sehr hoch.

Bei der Berechnung des DGM-2 dagegen wurden auch entfernt liegende Messpunkte

Tab. 4.1: Verschiedene Interpolationsparameter zur Berechnung von Geländemodellen im Testgebiet

Berechnungsparameter	DGM-1	DGM-2
Rasterpunktabstand	100 m	100 m
Gewichtung	2	0.5
Punktanzahl	20	100
maximaler Radius	300 m	500 m

zur Berechnung der Gitterpunkthöhen einbezogen. Wie die Abb. 4.3 zeigt (vergrößerte Darstellung vgl. Abb. B.2), ist der Anteil des Messrauschens deutlich zurückgegangen. Die Ausformung der Isolinien ist jedoch weitestgehend identisch.

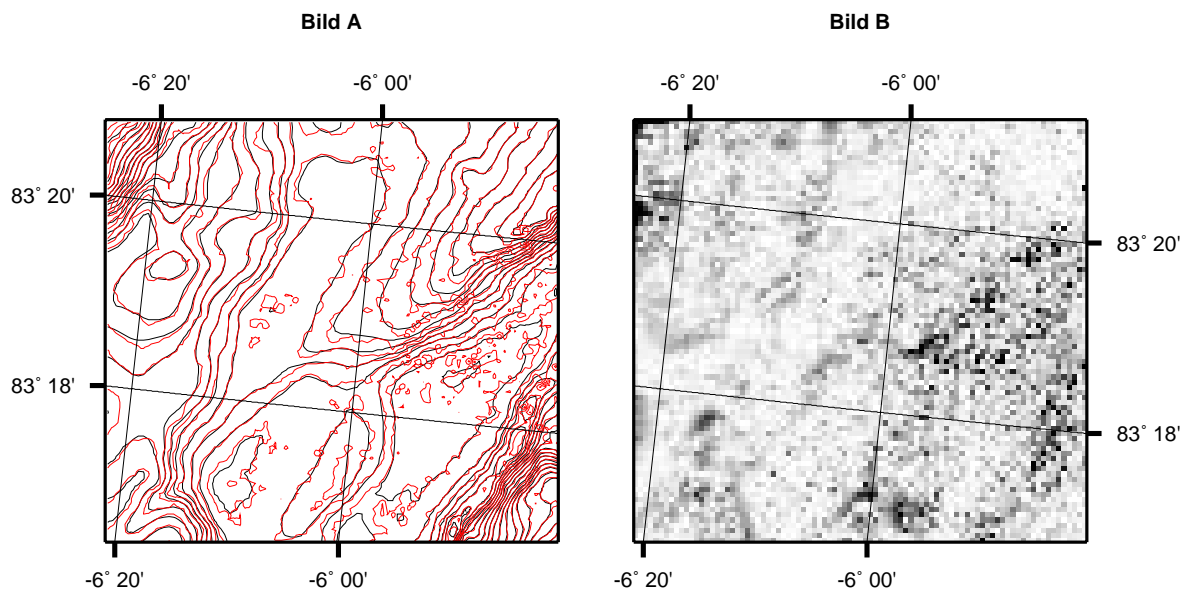


Abb. 4.3: Ausschnitt aus dem Testgebiet mit Isolinien aus DGM-1 (rot) und DGM-2 (schwarz) (Bild A) und Differenz des DGM-1 und DGM-2 (Bild B), wobei geringe Differenzen hell und hohe Werte (max. 50 m) dunkel dargestellt sind

Um die Unterschiede dieser beiden DGM weiter zu untersuchen, wurde die Differenz $DGM-1 - DGM-2$ gebildet. Das Bild B in Abb. 4.3 zeigt, dass die Differenzen in Gebieten starker Hangneigungsänderungen am größten sind. Das ist darin begründet, dass diese Gebiete durch den Einfluss entfernt liegender Punkte besonders abgeflacht werden.

Die mittlere Differenz von ca. 10 m liegt deutlich innerhalb der Messgenauigkeit. Dies zeigt, dass die Unterschiede der DGM im Einfluss des Messrauschens begründet sind

und die Geländemodelle somit keine signifikanten Differenzen aufweisen.

4.4 Berechnung des Geländemodells

Das digitale Geländemodell des Arbeitsgebietes wurde mit folgenden Parametern berechnet:

Tab. 4.2: Zur Berechnung des Geländemodells des Gesamtgebietes verwendete Interpolationsparameter

Rasterpunktabstand	100 m
Gewichtung	0.5
Punktanzahl	100
maximaler Radius	500 m
x-min, y-min:	-111 000, -823 000
x-max, y-max:	82 000, -542 000

Ergebnis der ca. 20-stündigen Berechnung² ist ein digitales Geländemodell mit 2810 Zeilen und 1930 Spalten. Die Fläche des Gebietes, in dem den Gitterpunkten ein Tiefenwert zugeordnet werden konnte, beträgt ca. 9900 km², die maximale Tiefe beträgt 5514 m, die minimale Tiefe ist 1212 m. Die Untersuchungen der Berechnungsparameter im Testgebiet zeigte, dass die verwendete Parameterkombination ein Modell liefert, das die Topographie des Meeresbodens hochauflösend wiedergibt und wenig Messrauschen enthält.

4.5 Glättung des Geländemodells

Um den Einfluss des Messrauschens auf das digitale Geländemodell weiter zu minimieren und aus dem Modell Isolinien guter Qualität ableiten zu können, muss das Geländemodell geglättet werden. Wie in Abb. 4.4 erkennbar, verlaufen die berechneten Isolinien aufgrund des Messrauschens teilweise sehr unruhig. Das Rauschen wirkt sich vorrangig auf den Isolinienverlauf in Gebieten mit geringer Steigung aus, wohingegen an stark geneigten Flächen kein unruhiger Verlauf der Isolinien zu erkennen ist.

²Die Berechnung wurde auf einer SUN-Workstation vom Typ Blade 100 (CPU: UltraSPARC-IIe 500 MHz, RAM: 1 GB SDRAM) durchgeführt.

Grund dafür ist ein verschiedenes Signal-Rausch-Verhältnis in Regionen unterschiedlicher Geländeneigung, da die Ungenauigkeit der Tiefenmessung, die in schräg und eben verlaufenden Gebieten gleichermaßen vorhanden ist, sich verschieden auf den Verlauf der Isolinien auswirkt. Während eine Tiefenänderung von einigen Metern den Verlauf der Isobathe in einem ebenen Gebiet bereits sichtbar verschiebt, bewirkt die gleiche Tiefenänderung in einem Gebiet mit großer Steigung keine sichtbare Lageänderung.

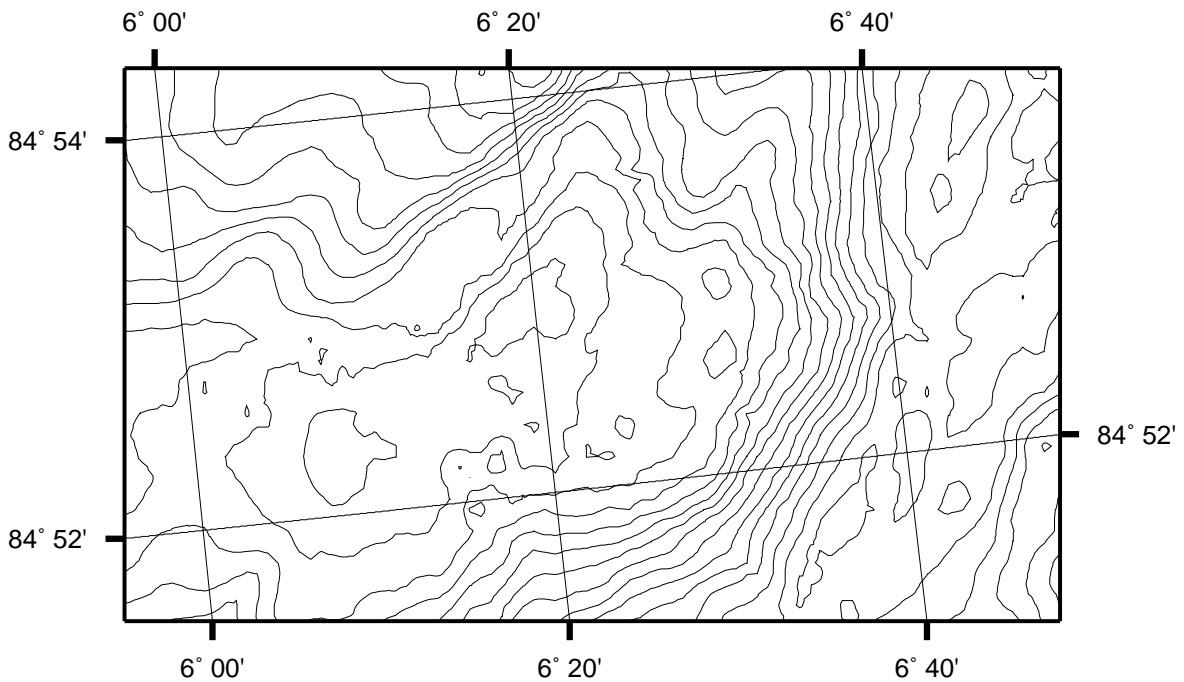


Abb. 4.4: Verlauf der Isolinien, die aus dem ungeglätteten Geländemodell abgeleitet wurden (Äquidistanz: 50 m)

Aufgrund dieses Verhaltens der Isolinien wurde das DGM mit einem Verfahren geglättet, in dem das Modell abhängig von der regionalen Geländeneigung gefiltert wird (Beyer 2001[7]). Um einer Fläche mit einer bestimmten Neigung einen Filter zuweisen zu können, wurde das Arbeitsgebiet in fünf Hangneigungsklassen unterteilt (Tab. 4.3).

Die Aufteilung der Hangneigungsklassen ist von der Verteilung der Geländeneigung im Arbeitsgebiet abhängig und wurde durch eine Analyse des Histogramms der Geländeneigung bestimmt. Die Auswahl der Filter, mit denen die Gebiete der Hangneigungsklassen geglättet werden, erfolgte in einem iterativen Prozess, in dem die Wirkungen verschiedener Filter in jeder Klasse getestet wurden. Die Kombinationen, die in den Tests die besten Resultate lieferten, wurden zur Glättung des DGM genutzt und sind ebenfalls in Tab. 4.3 aufgelistet. Damit die Geländeformen erhalten bleiben, wurden in Regionen mit starker Hangneigung (Hangneigungsklassen 1 und 2) kleine Filter gewählt. Je flacher das Gelände ist, umso größere Filter wurden zur Glättung des

Geländemodells verwendet.

Tab. 4.3: Grenzwerte zur Unterteilung in Hangneigungsklassen, sowie deren prozentualer Verteilung im Arbeitsgebiet und die verwendeten Filter

Klasse	Hangneigung	Häufigkeit	Filter	
1	$> 35^\circ$	26 %	3x3	binomial
2	$20^\circ - 35^\circ$	34 %	3x3	mittelwert
3	$10^\circ - 20^\circ$	27 %	5x5	binomial
4	$5^\circ - 10^\circ$	9 %	7x7	binomial
5	$< 5^\circ$	4 %	9x9	binomial

Zur Filterung wurden vorrangig binomiale Filtermatrizen genutzt, da somit bei der Berechnung der neuen Rasterpunkthöhe die Werte der nah liegende Rasterpunkte mit einem größeren Gewicht berücksichtigt werden.

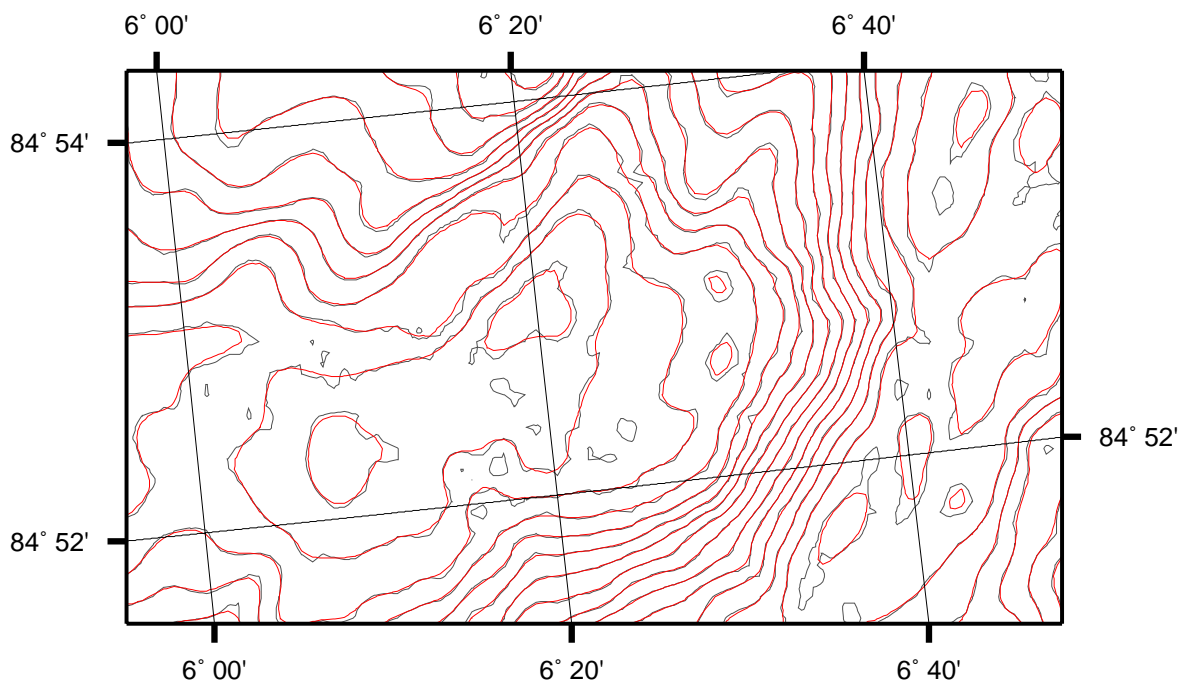


Abb. 4.5: Verlauf der Isolinien, die aus dem geglätteten Geländemodell abgeleitet wurden (in rot), gegenüber den Isolinien aus dem ungeglätteten Modell (Äquidistanz: 50 m)

Problematisch ist die Filterung in Gebieten, die innerhalb kurzer Distanz eine starke Änderung der Hangneigung aufweisen, wie beispielsweise am Rand eines Hanges. Es besteht die Gefahr, dass Bergkuppen oder Mulden abgeflacht werden. Durch die

Berechnung eines geglätteten Neigungsmodells werden diese Extremstellen einer niederen Neigungsklasse zugeordnet und somit die Verfälschung der Topographie vermieden. Dazu wird zunächst ein Rasterdatensatz berechnet, der die Hangneigung jeder Rasterzelle des Geländemodells enthält. Dieser Datensatz wird anhand eines Maximalwert-Filters geglättet, sodass jede Rasterzelle in eine niedrigere Neigungsklasse eingeordnet wird, wenn sich eine Zelle mit einer höheren Neigung in deren Nachbarschaft befindet. Zur Berechnung des Maximalwert-Filters diente ein Quadrat aus 25 Rasterzellen. Auf Grundlage des geglätteten Neigungsmodells wurde bei der anschließenden Glättung des Geländemodells jede Rasterzelle einer Hangneigungsklasse bzw. dem entsprechenden Filter zugeordnet.

Durch die neigungsabhängige Filterung wurde der Einfluss des Messrauschens größtenteils beseitigt (Abb. 4.5). Der Verlauf der Isolinien in den flachen Regionen ist deutlich geglättet, wogegen die Linienform in geneigten Flächen erhalten geblieben ist. Auch die Grenzbereiche zwischen hoher und geringer Hangneigung wurden nicht verfälscht.

4.6 Untersuchung der Genauigkeit

Zur Beschreibung der Genauigkeit eines digitalen Geländemodells dient unter anderem die Berechnung der Residuen, also der Abstände der Messpunkte von der berechneten Geländeoberfläche. ArcInfo stellt die Funktion *latticespot* zur Verfügung, wodurch die Höhe des Geländemodells an einem bestimmten Ort ermittelt werden kann. Die Residuen werden dann durch die Bildung der Differenz aus der gemessenen Tiefe und der interpolierten Geländehöhe am Ort der Messung ermittelt. Diese Berechnung konnte aber aufgrund des hohen Speicherplatzbedarfs bei der Auswertung der rund 12 Millionen Messpunkte im gesamten Arbeitsgebiet nicht durchgeführt werden. Repräsentativ für das Gesamtgebiet wurde sie stattdessen im Testgebiet durchgeführt, das zur Wahl der Interpolationsparameter (vgl. Kap. 4.3) diente.

Um aus der Berechnung der Residuen eine aussagekräftige Qualitätsangabe des DGM abzuleiten, wurde für jede Rasterzelle die empirische Standardabweichung σ aus der Anzahl der Stichproben n und der Summe der Quadrate der Residuen $[vv]$ nach Formel 4.1 (Baumann 1994 [6]) berechnet.

$$\sigma = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (4.1)$$

Da die Messgenauigkeit von der Wassertiefe abhängig ist, wurde zum Zweck einer aussagekräftigen Gegenüberstellung nach Formel 4.2 die empirische Standardabweichung jeder Rasterzelle in Prozent der Wassertiefe d berechnet.

$$\sigma_{\%} = \frac{\sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}}{d} 100 \quad (4.2)$$

Die Berechnung ergab eine mittlere empirische Standardabweichung von 0.6 % der Wassertiefe. Das Modell des Meeresbodens konnte demnach mit einem mittleren Fehler berechnet werden, der innerhalb der Messgenauigkeit der Ausgangsdaten liegt (vgl. Kap. 3.1). Abb. 4.6 zeigt die Verteilung der Genauigkeit auf die Anzahl der Rasterzellen in einem Histogramm.

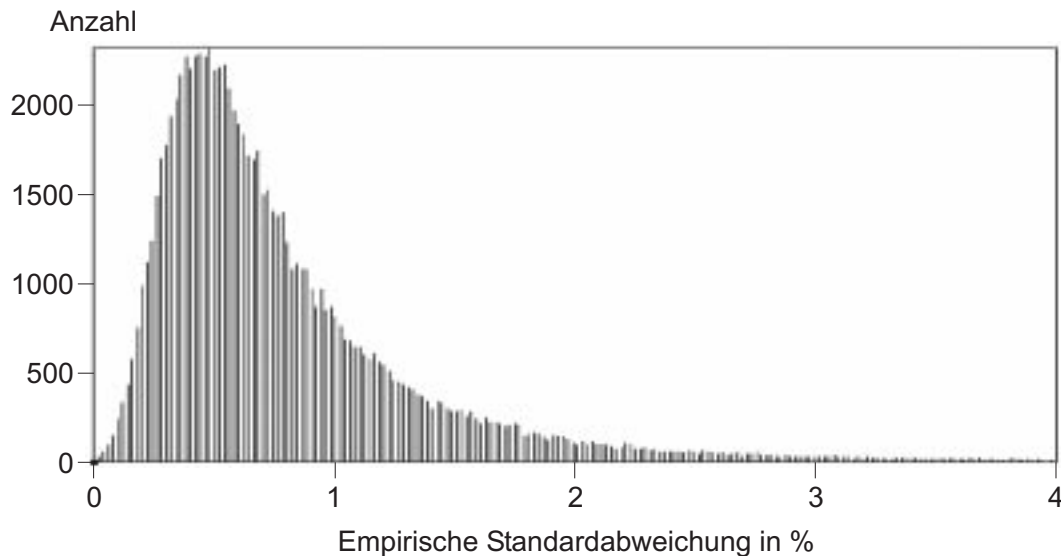


Abb. 4.6: Histogramm der empirischen Standardabweichung im Testgebiet in Prozent der Wassertiefe

Aus der Abb. 4.7, Bild A (vergrößerte Darstellung vgl. Abb. B.3), ist die regionale Verteilung der Standardabweichung im Testgebiet ersichtlich. Sie ist in Graustufen von Weiß (0.5 %) bis Schwarz (3 %) zusammen mit den Vermessungslinien der „Healy“ (Rot) und der „Polarstern“ (Blau) dargestellt. Wenn dieser Darstellung die der Isolinien (Abb. 4.7, Bild B) im Testgebiet gegenübergestellt wird, zeigt sich, dass die Genauigkeit des Modells in erster Linie von der Topographie abhängig ist.

In ebenen Gebieten liegt die empirische Standardabweichung unter 0.5 %. Dunkle Flächen, und damit Gebiete geringer Genauigkeit, sind in Regionen mit bewegter Topographie zu finden. Der Grund dafür liegt unter anderem darin, dass die Punktdichte

in diesen Gebieten häufig zu gering ist für die Berechnung einer Modelloberfläche mit hoher Qualität. Ein Vergleich mit der Punktdichte im Testgebiet (Abb. 4.2) bestätigt dies.

Auch das erhöhte Messrauschen in den Randbereichen des Messfächers beeinträchtigt die Qualität des Geländemodells. Die Auswirkung dieser Beeinträchtigung ist in Abb. 4.7 allerdings nicht zu erkennen. Sie kann aufgrund der vorgegebenen Messgenauigkeit nur in einem Bereich weniger als 1% der Wassertiefe liegen und wird deswegen vom stärkeren Einfluss der Topographie auf die empirische Standardabweichung überlagert.

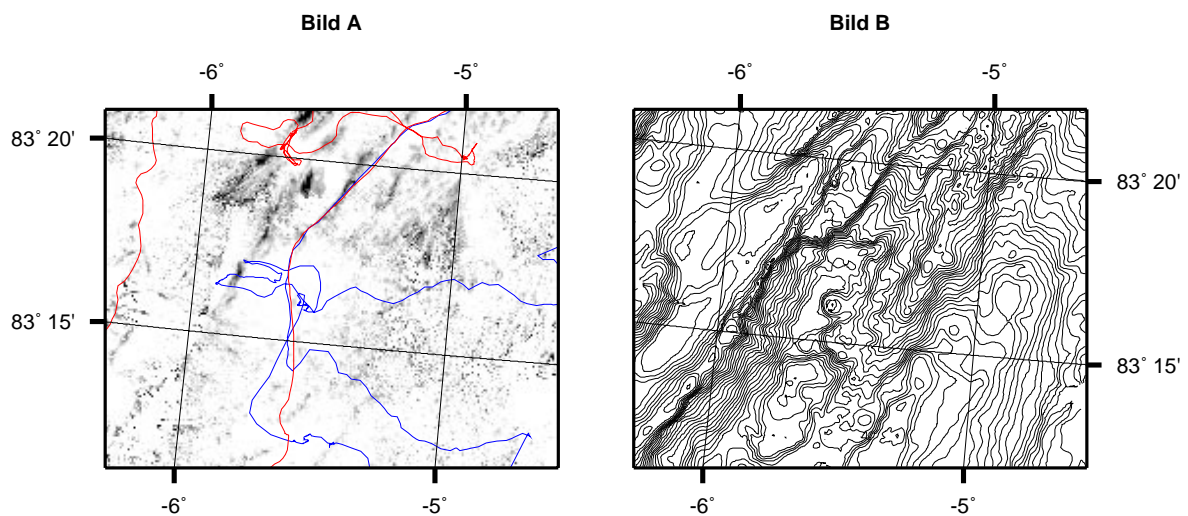


Abb. 4.7: Regionale Verteilung der empirischen Standardabweichung im Testgebiet (Bild A) und Isobathen mit einer Äquidistanz von 50 m aus dem geglätteten Geländemodell (Bild B)

4.7 Vergleich der Messdaten des Hydrosweep DS-2 und des Seabeam 2112

Dieser Abschnitt soll zeigen, dass die Messdaten beider Fächersonarsysteme gleichberechtigt in einem gemeinsamen Geländemodell ausgewertet werden können. Dazu wurden in einem Testgebiet Geländemodelle berechnet, deren Datengrundlage ausschließlich Messungen eines der beiden Sonarsysteme sind.

Die Auswahl eines Testgebietes hat große Bedeutung, da nur Messungen, die unter ähnlichen Bedingungen durchgeführt wurden, miteinander vergleichbar sind. Das Testgebiet sollte gewährleisten, dass beide Messschiffe einer gemeinsamen Fahrtlinie folgen, sodass der gleiche Meeresbodenabschnitt von beiden Fächersonaren vermessen wird.

Dabei darf die Beeinträchtigung der Qualität der Vermessung durch die hydroakustischen Störeinflüsse des Eises nur gering sein. Wichtig ist auch, dass die Verteilung der Messpunkte auf dem Meeresboden annähernd gleich ist und dass die Topographie des Meeresbodens sowohl ebene als auch steile Regionen aufweist.

Die Beschreibung der Durchführung der Vermessung (vgl. Kap. 3.2) zeigt allerdings, dass im Arbeitsgebiet nicht viele Regionen existieren, die als Testgebiet infrage kommen. Fahrtabschnitte mit guter Datenqualität wurden während wissenschaftlicher Stationsarbeiten gewonnen. Diese Regionen wurden aber nie von beiden Schiffen mit gleicher Datendichte vermessen. Fahrstrecken, die von beiden Schiffen überfahren wurden, dienten meistens dem Ziel, dass die voranfahrende USCGC „Healy“ der folgenden „Polarstern“ den Weg durch die feste Eisdecke bahnt, woraus eine ungleiche Beeinträchtigung der Qualität der Fächersonarmessungen resultiert. Die Entscheidung für das Testgebiet (Abb. 4.8) konnte nur mit Zugeständnissen an die genannten Voraussetzungen getroffen werden. Die Qualität der Messungen der USCGC „Healy“ unterliegt durch die Vorausfahrt stärkeren Beeinträchtigungen als die der „Polarstern“. Die kurvenreiche Fahrt verhindert außerdem eine gleichmäßige Verteilung der Messpunkte. Die Messungen mit dem Seabeam 2112 weisen zudem eine Datenlücke im Südostteil des Testgebietes auf.

Aus den Datensätzen wurden zwei geglättete Geländemodelle nach der gleichen Vorgehensweise wie bei der Erstellung des Modells des gesamten Arbeitsgebietes berechnet. Anschließend wurde die Differenz dieser Modelle berechnet, indem das DGM der Seabeam-Messung von dem DGM der Hydrosweep-Messung abgezogen wurde. Um die Differenzen in Beziehung zur Wassertiefe zu setzen, wurden sie in Prozent der Wassertiefe umgerechnet. Abb. 4.8 zeigt die Verteilung der positiven (rot) und negativen (blau) Differenzen, die einen Wert von 1 % der Wassertiefe überschreiten. Ein dunkler Farbton entspricht der maximalen Differenz von ca. 3 %.

Die Abb. 4.8 sagt aus, dass die Differenz der Geländemodelle im überwiegenden Teil des Testgebietes geringer ist, als die vorausgesetzte Messgenauigkeit von 1 % der Wassertiefe. Die Differenzen, die über der Messgenauigkeit liegen, sind größtenteils ohne erkennbares Muster im Testgebiet verteilt. Davon ausgenommen sind die Differenzen, die besonders im Südteil des Testgebietes entlang der Begrenzung des Messfächers ausprägt sind (A). Sie markieren die Grenze der überdeckten Fläche eines der beiden Fächerlote und sind in den daraus entstehenden Interpolationsfehlern begründet. Auch die Ränder der Datenlücken des Seabeam-Fächerlotes (B) zeigen diese Struktur. Die Ursache der hohen Differenz in der Mitte des Testgebietes (C) wie auch der übrigen Grid-Differenzen liegt in der inhomogenen Verteilung der Messwerte. Diese wirkt sich besonders stark an steilen Hängen aus, da die Interpolationsfehler durch den Mangel

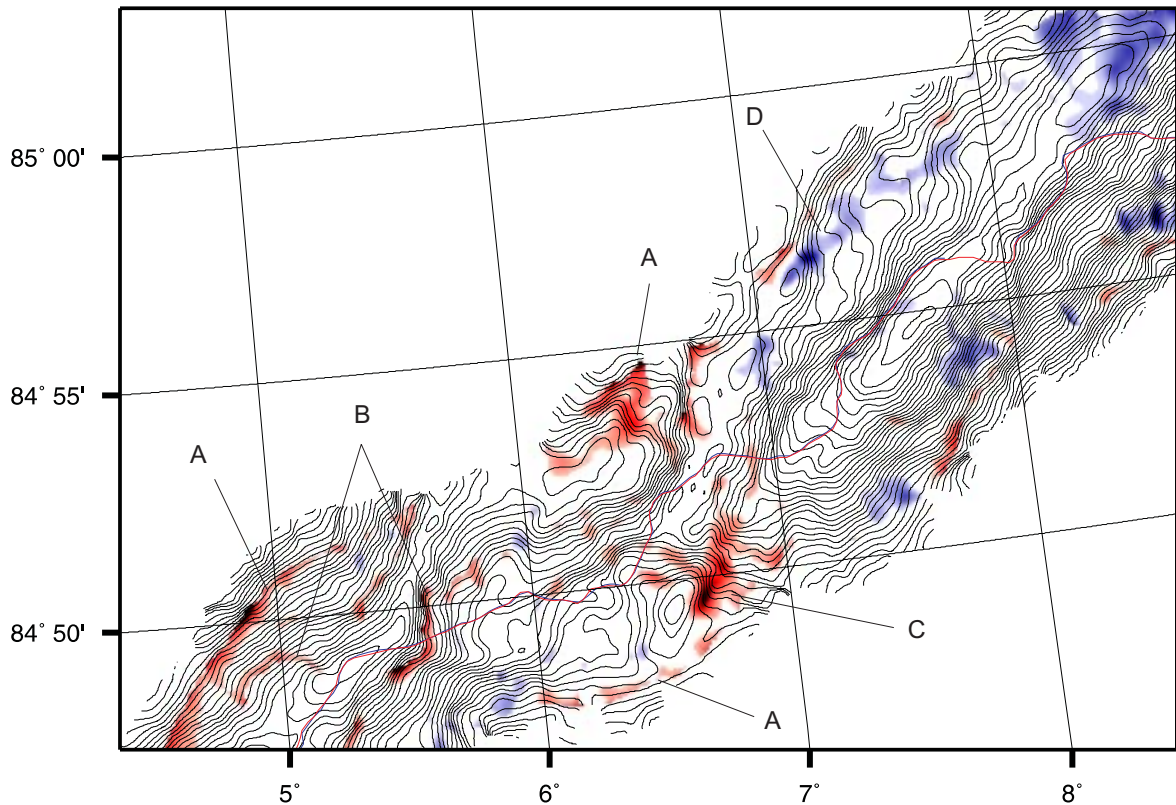


Abb. 4.8: Differenz der Geländemodelle aus Seabeam- bzw. Hydrosweep-Daten ab 1% der Wassertiefe. Der blaue Farbton markiert die Flächen, in denen das DGM aus Hydrosweep-Daten unter dem DGM aus Seabeam-Daten liegt; reversibel gilt dies für die rötlichen Flächen. Die Maximalwerte von 3% sind jeweils schwarz (Äquidistanz der Isolinien: 50 m, Fahrtlinie der „Polarstern“ blau, der „Healy“ rot)

an Tiefendaten in diesen Regionen schneller große Werte annehmen, als in Gebieten geringer Hangneigung. Der Anstieg der Differenz mit zunehmender Geländeneigung ist beispielsweise auch in Region D zu erkennen.

Die bei der Untersuchung festgestellten Differenzen der Geländemodelle resultieren aus Interpolationsfehlern, die durch die inhomogene Messdatenüberdeckung hervorgerufen wurden. Es konnten keine systematischen Unterschiede zwischen den Messwerten des Hydrosweep DS-2 und des Seabeam 2112 festgestellt werden, wodurch die gleichberechtigte Auswertung in einem gemeinsamen Datensatz gerechtfertigt ist.

5 Visualisierung des digitalen Geländemodells

Die anschauliche Präsentation des digitalen Geländemodells des Arbeitsgebietes ist Voraussetzung, um die topographischen Strukturen des Meeresbodens analysieren zu können. Im Folgenden werden zwei Arten zur Visualisierung des Meeresbodens beschrieben:

- Die Erstellung von drei Isolinienkarten im Maßstab von 1 : 150 000.
- Die dreidimensionale Visualisierung.

5.1 Bathymetrische Karte

5.1.1 Ableitung und Nachbearbeitung der Isolinien

Das Programm ArcInfo stellt die Funktion *latticecontour* zur Verfügung, die zur Isolinienberechnung aus dem digitalen Geländemodell diente. Die Äquidistanz wurde auf 50 m festgelegt. In diesem Intervall ermöglichen die Isolinien im vorgegebenen Maßstab eine gute Darstellung der kleinräumigen topographischen Strukturen, ohne an steilen Hängen zu dicht geschart zu sein.

Die abgeleiteten Isolinien mussten vereinzelt korrigiert werden. Der größte Teil der Nacharbeiten konzentrierte sich auf den Randbereich des Arbeitsgebietes, da hier durch fehlende Tiefeninformation des Öfteren Interpolationsfehler auftraten. Dadurch entstehen zum Beispiel Isolinienfragmente, die keine Beziehung zu anderen Isolinien zeigen (Abb. 5.1, Bild A). Diese Bruchstücke wurden entfernt. Sehr selten hingegen kam es zu so stark ausgeprägten Artefakten, wie es Abb. 5.1, Bild B zeigt. Die in rot gezeigten

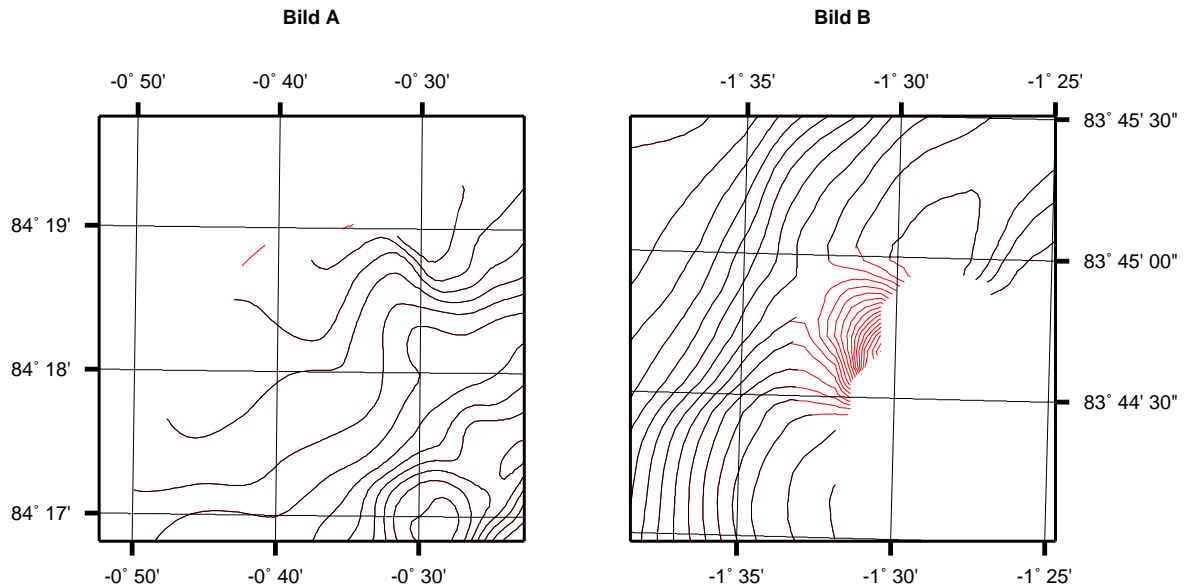


Abb. 5.1: Isolinienartefakte am Rand des Arbeitsgebietes (in rot dargestellte Isolinien wurden aus dem Datensatz entfernt)

Isolinien sind wahrscheinlich aufgrund einer einzelnen Fehltiefe verursacht worden, die durch die Tiefeneditierung nicht aufgedeckt werden konnte.

Eine unnatürliche Ausformung einer Isolinie, die durch die Glättung des digitalen Modells nicht korrigiert werden konnte, ist im Bild A der Abb. 5.2 gezeigt. In der Nachbearbeitung der Isolinien wurden diese manuell geglättet. Die geringe Datendichte in einigen Regionen verursachte vereinzelt Lücken in der Isoliniendarstellung. Diese konnten, wenn der Verlauf der Isolinien eindeutig ist (Abb. 5.2, Bild B), durch die visuelle Interpolation unter Fortführung der morphologischen Strukturen manuell geschlossen werden. Dadurch kann die Anschaulichkeit des kartographischen Produktes gesteigert werden.

5.1.2 Kartendarstellung in ArcPlot

Inhalt der bathymetrischen Karte des südöstlichen Gakkel-Rückens sind zusätzlich zu den Isolinien aus dem hochauflösenden digitalen Geländemodell noch Tiefenstufenpolygone, Vermessungslinien, bathymetrische Informationen aus der *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean* (IBCAO), Informationen über geologische Bodenbeprobungen, sowie ein Überblick über die Kartenblätter, die Legende und der Kartenbegleittext.

Die Tiefenstufenpolygone dienen der farblichen Abstufung der Tiefenbereiche in einem

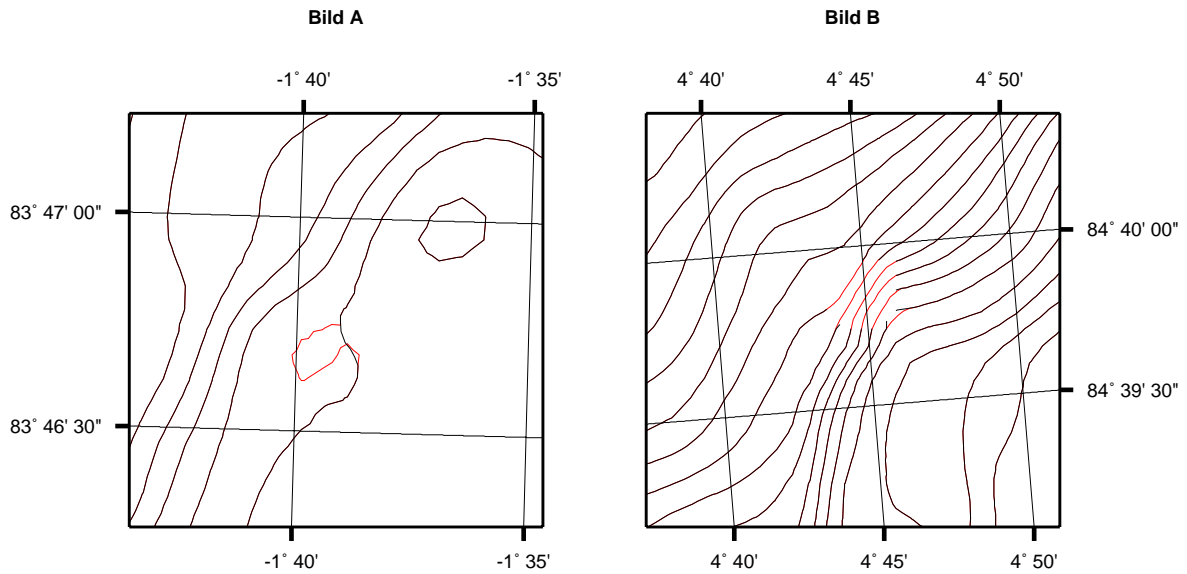


Abb. 5.2: Manuell geglättete Isolinienstruktur (Bild A) und manuell extrapolierte Isolinien (Bild B) in einer Region mit geringer Datendichte

Intervall von 1000 m. Zur Erstellung der Polygone dienten die 1000-m-Tiefenlinien, die mit einem Polygon, welches das Arbeitsgebiet umschließt, geschnitten wurden. In der anschließenden manuellen Nachbearbeitung wurden die Polygone mit einem Tiefenindex markiert, der die Zuweisung des Polygons zu einem Tiefenintervall ermöglicht.

Die Vermessungslinien zeigen die Fahrstrecken der Vermessungsschiffe und ermöglichen somit eine bessere Interpretation der Karte. Die Navigationsdaten wurden den Messdaten der Echolote entnommen und in einem ArcInfo *line coverage* abgelegt.

Die Informationen über die geologische Beprobung des Meeresbodens entstammen den Stationslisten der Forschungsschiffe und ermöglichen die Zuordnung von geologischen Erkenntnissen zur Topographie des Meeresbodens. Die Positionsinformationen der Beprobungsstationen wurden in ArcInfo *point coverages* abgelegt.

Die bathymetrischen Informationen der IBCAO (vgl. Kap. 6.3) werden in den Kartenbereichen dargestellt, in denen während der AMOR-Expedition 2001 keine Tiefendaten aufgezeichnet wurden. Sie ermöglichen die bessere Interpretation der Topographie des Gakkel-Rückens. Die IBCAO lag in der Version 1.0 des Jahres 2001 in Form eines digitalen Geländemodells im netCDF-Format¹ vor. Um aus dem Modell Isolinien abzulei-

¹netCDF (*network Common Data Form*) ist ein Interface für den feldorientierten Datenzugriff und dessen Implementierung in einer Bibliothek. Die netCDF-Bibliothek definiert dazu ein plattformunabhängiges Datenformat zur Verwaltung wissenschaftlicher Daten, welches am *Unidata Program Center* in Boulder, Colorado, entwickelt wurde (<http://unidata.ucar.edu/Software.html>).

ten, wurde es in ArcInfo mit der AML²-Routine *ArcGMT*³ in eine ArcInfo-Rasterdatei konvertiert. Die Isolinien in einem Intervall von 100 m konnten daraufhin in ArcInfo nachbearbeitet und in der Isolinienkarte dargestellt werden.

Für die Erstellung der bathymetrischen Karten wurden AML-Skripte angelegt. Zur Erzeugung der Hauptkarte sowie der Nebenkarten zur Blattübersicht, zur Übersicht über die Vermessungslinien und geologischen Bodenbeprobungen, der Kartenlegende und des Kartenbegleittextes wurden externe AML-Skripte aufgerufen, die für alle drei Karten gleichermaßen nutzbar waren. Die graphische Ausgabedatei wurde im PostScript-Code⁴ erstellt.

Die AML-Skripte zur Kartenerstellung sind in Anhang F aufgelistet, die Isolinienkarten sind dem Anhang G beigelegt. Vorbild bei der graphischen Gestaltung der Kartenblätter war die *AWI Bathymetric Chart of the Fram Strait*, die am Alfred-Wegener-Institut erstellt wurde (Klenke 2002[24]).

5.2 Dreidimensionale Visualisierung

Die räumliche Darstellung des digitalen Geländemodells ist ein bedeutendes Werkzeug für die Analyse der topographischen Strukturen. Morphologische Details aber auch Artefakte, die in den Tiefenmessungen oder der Interpolation des Modells begründet sind, erscheinen in der räumlichen Ansicht sehr deutlich. Das Programm *Fledermaus* wurde von der Firma *Interactive Visualization Systems Inc.* (IVS) zur dreidimensionalen Visualisierung von Datenmodellen erstellt und bietet Funktionen, um interaktiv räumliche Ansichten von Modellen zu erzeugen (IVS 2002[18]). Die Visualisierung kann auf dem Computerbildschirm, aber auch in Form von Einzelbildern oder Bilderserien erfolgen, die zu einem Film verarbeitet werden können. *Fledermaus* eignet sich sehr gut zur Darstellung von topographischen Datenmodellen.

Das digitale Geländemodell vom Bearbeitungsgebiet des Gakkel-Rückens wurde nach der Konvertierung des Rasterdatenformats in *Fledermaus* räumlich dargestellt. Abb.

²AML (Arc Macro Language) ist eine Programmiersprache, die ArcInfo zur Verfügung stellt, um die plattformunabhängige Programmierung von ArcInfo-Applikationen zu ermöglichen.

³ArcGMT ist eine Zusammenstellung von AML-Routinen, wodurch Formatkonvertierungen zwischen ArcInfo und GMT (Generic Mapping Tools) mit Raster- und Linieninformationen ermöglicht werden (<http://dusk.geo.orst.edu/arcgmt/>).

⁴PostScript ist eine plattformunabhängige Programmiersprache (entwickelt von Adobe Systems Inc., 1985), um Text und Grafik an graphische Ausgabegeräte zu übermitteln. PostScript-Programme werden i. d. R. nicht von Benutzern, sondern von Anwendungsprogrammen erzeugt.

5.3 zeigt eine Gesamtansicht des Bearbeitungsgebietes mit Blick nach Südosten, sowie zwei Detailausschnitte. Der Bildausschnitt oben rechts veranschaulicht den Vulkankegel bei der Position $0^{\circ} 40' E/84^{\circ} 09' N$, der Bildausschnitt unten links zeigt die Seitenansicht eines mächtigen Bergmassivs an der Position $5^{\circ} W/83^{\circ} N$. Die dieser Arbeit beigefügte CD-ROM enthält beispielhaft eine dreidimensionale Flugsimulation, die sowohl einen Überblick über die Morphologie, als auch detaillierte morphologische Strukturen zeigt. Aufgrund der großen Anschaulichkeit eignen sich Präsentationen dieser Art auch besonders dazu, die unterseeische Topographie einem Personenkreis näher zu bringen, der im Lesen einer bathymetrischen Karte ungeübt ist.

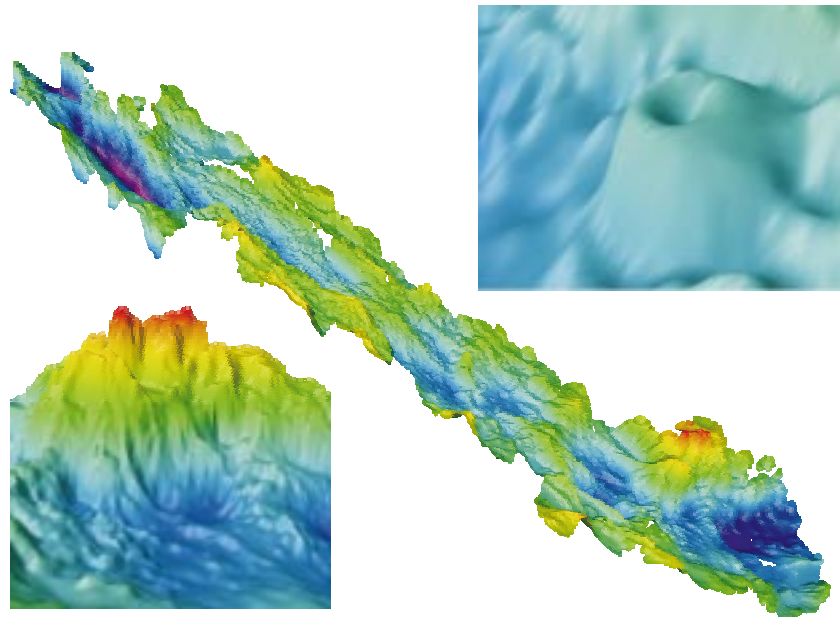


Abb. 5.3: Beispiele zur dreidimensionalen Visualisierung des Geländemodells in *Fledermaus*

6 Interpretation der Topographie

Das ca. 9900 km² große Arbeitsgebiet des südwestlichen Gakkel-Rückens kann in drei Regionen gegliedert werden. Sie sind in Abb. 6.1 (Blickrichtung Nordost) mit Region A, Region B und Region C bezeichnet und zeigen unterschiedliche topographische Merkmale. Die Region A liegt im Nordosten des Bearbeitungsgebietes zwischen 84° 30' N und 85° N und erstreckt sich bis ca. 3° E. Im Westen schließt sich die Region B an, die bis zum Übergang in den Lena-Trog bei 83° N/6° W vorherrscht und den größten Anteil an der Fläche des Arbeitsgebietes hat. Südlich dieser Grenze erstreckt sich Region C.

Die folgenden Abschnitte beinhalten die Beschreibung und Interpretation der Topographie der Regionen A – C, sowie den Vergleich des neu erstellten, hochauflösenden digitalen Höhenmodells mit dem bisherigen Kenntnisstand der Meeresbodentopographie aus der *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean* (IBCAO).

Grundlage der Interpretation der Topographie sind neben den dreidimensionalen Ansichten des Geländemodells in erster Linie die bathymetrischen Karten im Maßstab 1 : 150 000 im Anhang G. Zur Zuordnung zwischen den im Text beschriebenen Strukturen und der Karte sind teilweise Kartenausschnitte in den Text eingefügt.

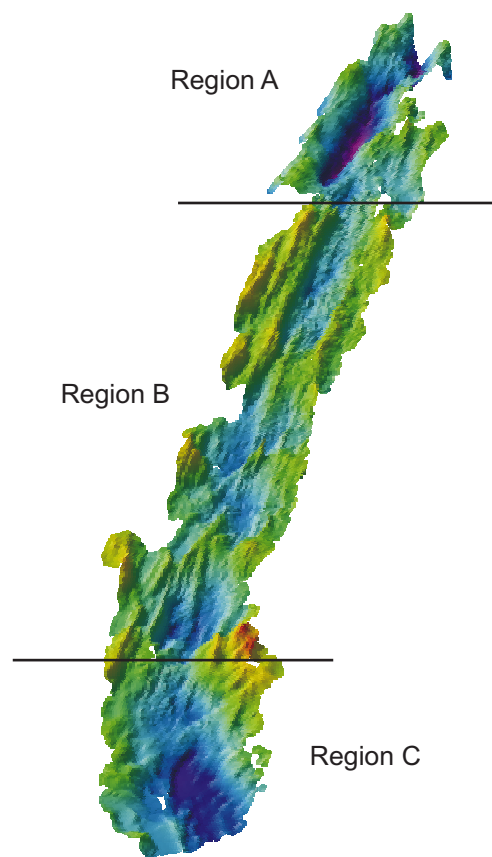


Abb. 6.1: Dreidimensionale Ansicht des Arbeitsgebietes mit Unterteilung in Regionen mit verschiedenen topographischen Merkmalen

6.1 Der Gakkel-Rücken östlich von 3° E (Region A)

Die Topographie des Gakkel-Rückens im Osten des 3°-E-Längengrades ist geprägt von Strukturen, wie sie für Mittelozeanische Rücken mit sehr geringen Spreizungsraten typisch sind (vgl. Kap. 2.2). Der Rücken weist einen ausgeprägten Taleinschnitt auf (Abb. 6.2, Profil A, Lage des Profilschnittes vgl. Abb. 6.5), der bei 4° E zum Beispiel eine Breite von 25 km hat. Die Talsohle hat eine Breite von ca. 1 km und ist 5500 m tief. Die Talflanken haben eine Steigung von ca. 15° und erheben sich im Norden bis in eine Tiefe von 3500 m und im Süden bis in 2700 m. Diese Werte gleichen denen, die *Kristoffersen* (1982[25]) aus einem bathymetrischen Profil über den Gakkel-Rücken entnommen hat, das an ähnlicher Position liegt, wie das hier gewählte Profil A. Eine zentrale Erhöhung von rund 200 m Höhe, wie sie von *Kristoffersen* beschrieben wird, ist allerdings nicht ausgebildet.

Aus den Rückenhöhen ist eine deutliche Asymmetrie erkennbar: Die Südflanke ist rund 700 m höher als die Nordflanke. Grund für die unterschiedliche Rückenhöhe ist, dass die Driftgeschwindigkeit auf beiden Seiten des Rückens verschieden groß ist (*Frisch & Loeschke* 1993[16]). Die größere Rückenhöhe auf der Südseite weist darauf hin, dass die Driftgeschwindigkeit hier geringer ist, als die der Nordseite. Der maximale Höhenunterschied zwischen Talsohle und Rückenkegel beträgt 2800 m. Ähnliche Höhenverhältnisse herrschen auch im weiteren Verlauf des Rückens bis 70° E vor und bestimmen somit das vordergründige Erscheinungsbild des Rückens. Besonders beim Vergleich dieser Kenndaten des Rückenprofils mit der Studie von *Small* (Abb. 2.3) wird ersichtlich, dass der Gakkel-Rücken markante topographische Eigenschaften eines langsam spreizenden Rückens aufweist.

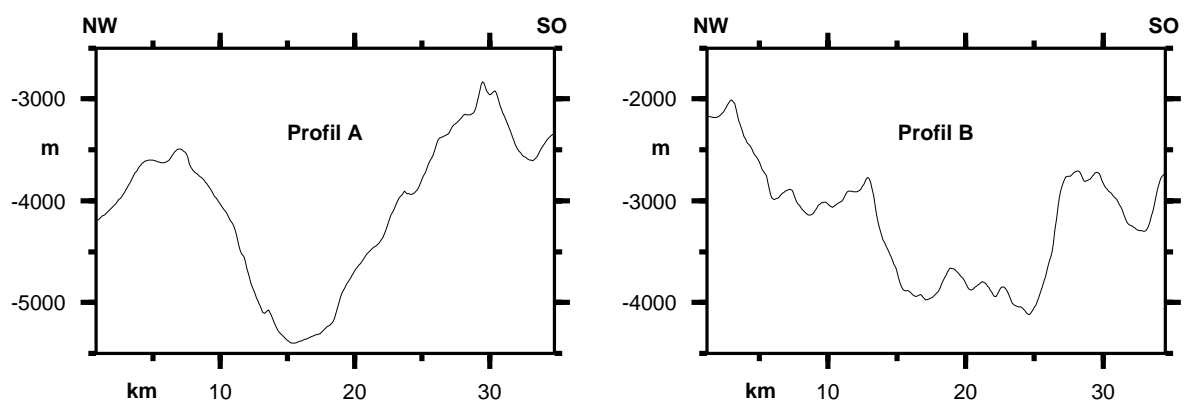


Abb. 6.2: Profilschnitte über den Gakkel-Rücken bei 4° 20' E (Profil A) und 1° 00' W (Profil B)

Bei der Betrachtung des großräumigen Verlaufs des Rückens (Abb. B.4 im Anhang

B) fällt außerdem auf, dass die zentrale Spreizungszone keinen geradlinigen Verlauf aufweist. In nahezu gleichmäßigen Intervallen ändert sich die Richtung der Rückenachse abrupt und knickt nach Norden oder Süden ab. Diese Segmentierung ist in Abb. 6.3 schematisiert.

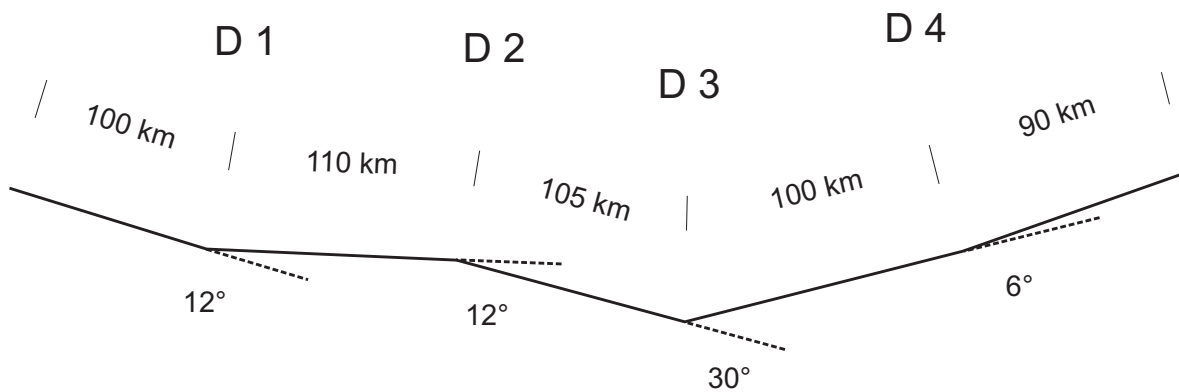


Abb. 6.3: Schematische Darstellung der Untergliederung des Gakkel-Rückens in Segmente annähernd gleicher Länge zwischen 2° E und 60° E

An den Diskontinuitätsstellen D 1 bis D 4 ändert sich die Ausrichtung der Rückenachse um 6° bis 30°. Die Länge der Segmente beträgt jeweils ca. 100 km. Quer zur Achse des Rückens haben sich an den Diskontinuitätsstellen teilweise Höhenrücken ausgebildet, die bis zu 200 km lang sind.

6.2 Der Gakkel-Rücken westlich von 3° E (Regionen B und C)

Bei etwa 3° E ändert sich die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene charakteristische Topographie, was durch die Form des Profiles über dem Rücken deutlich wird (Abb. 6.2, Profil B, Lage des Profilschnittes vgl. Abb. 6.5).

Die maximalen Tiefen im Zentraltal betragen nur noch 4500 m, während der Rückenkamm Tiefen um 2300 m aufweist. Die mit rund 10 km wesentlich breitere Talsohle als in Region A, wird von Höhenrücken unterbrochen, die sich parallel zu den Rückenflanken erstrecken und teilweise nur 2500 m tief sind (z. B. 5° 00' W/83° 23' N, 3° 00' W/83° 37' N, 1° 50' W/83° 50' N). Die Flanken weisen keine einheitliche Steigung auf, sondern sind in Stufen angeordnet. Der Hang steigt von der Talsohle einige hundert Meter mit einer Steigung von teilweise mehr als 45° auf. Daran schließt sich ein Gelände mit geringer Hangneigung (ca. 5°) an, das mehrere Kilometer in die Rücken-

flanke hineinreichen kann (Abb. 6.2, Profil B). Im Anschluss an dieses Gebiet setzt sich die Flanke zum Rückenkeamm mit einer Steigung von ca. 20° fort.

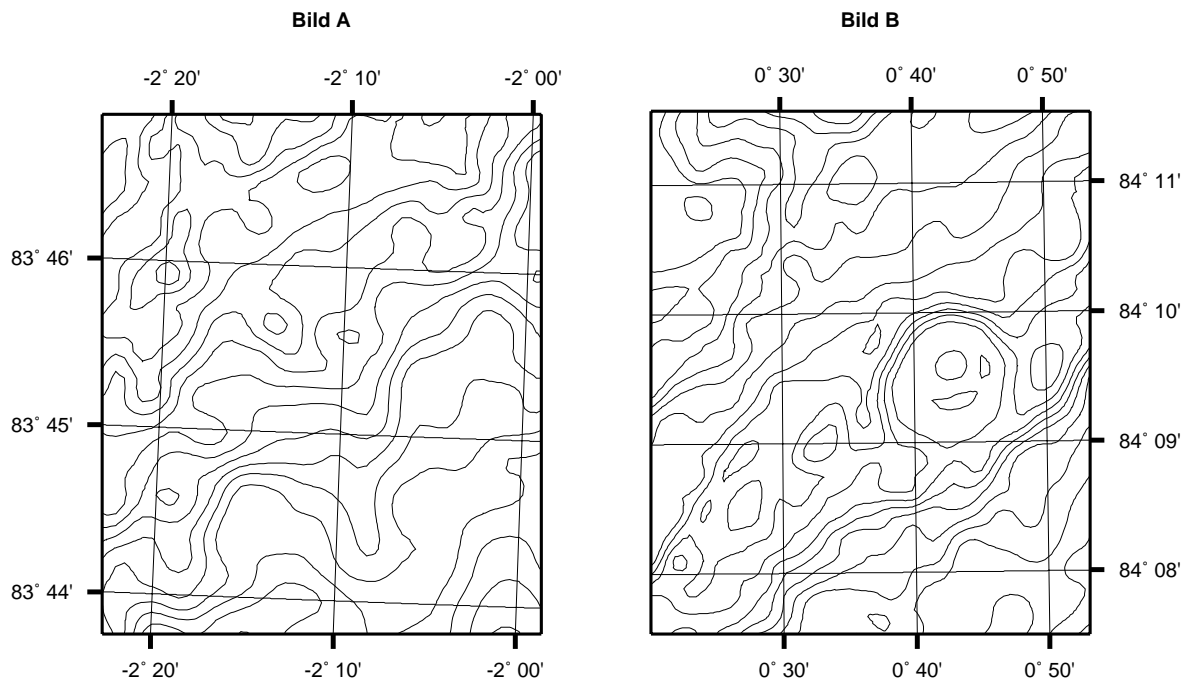


Abb. 6.4: Beispiel der kleinräumigen morphologischen Strukturen der Sohle des Zentraltales in Region B (Äquidistanz: 50 m)

Die Oberfläche der Talsohle ist außerdem von vielen kleinräumigen Strukturen gekennzeichnet, die ein sehr unruhig wirkendes Isolinenbild erzeugen (Abb. 6.4, Bild A, vgl. auch dreidimensionale Flugsimulation (bei 2:35 min) Anhang H). Daraus heben sich vereinzelt kreisrunde Kegel ab, die auf verbreitete vulkanische Aktivitäten hinweisen. So zum Beispiel bei 2° 50' E/84° 29' N oder in Abb. 6.4, Bild B bei 0° 45' E/84° 09.5' N. Diese Kuppen haben eine Höhe von ca. 200 m und messen ca. 2 km im Querschnitt. Durch die dreidimensionale Visualisierung (vgl. Abb. 5.3 sowie Flugsimulation (bei 2:35 min) auf der beigefügten CD-ROM) ist beim letztgenannten Beispiel besonders gut eine Vertiefung im Zentrum der Kuppe ersichtlich.

Die unterseeische Landschaft in Region B mit starker Rauigkeit glättet sich südlich des 83. Breitengrades in Region C. Hier öffnet sich ein weites Tal über 15 km Breite. Mehrere Becken mit Tiefen zwischen 4100 m und 4800 m (z. B. bei 6° 30' W/82° 48' N oder 7° 10' W/82° 37' N) breiten sich am nördlichen Ende des Lena-Trogs aus. Die Bergflanken steigen auch hier stufenförmig an, wobei die Höhe der Rückenkeamme nicht bestimmt werden kann, da sie außerhalb der Grenzen des Arbeitsgebietes liegen. Besonders markant ist das Bergmassiv im Nordosten dieser Region (Abb. 5.3), welches das Tal um 3000 m überragt. Die Kuppe ist mit 1224 m der Ort mit der geringsten

Tiefe im Arbeitsgebiet.

Die Grenze zwischen den Regionen A und B markiert einen deutlichen Wechsel der topographischen Strukturen. Während die Region A von dem tief eingeschnittenen Zentraltal und schmaler Talsohle geprägt ist, zeigt die Topographie in Region B eine starke Meeresbodenrauigkeit, bedingt durch vulkanische Strukturen und tektonische Störungen, und einen stufigen Verlauf der Rückenflanken. Wie Kapitel 2.2 zeigte, ist die topographische Charakteristik des Zentraltales von der Spreizungsrate des Mittelozeanischen Rückens abhängig. Aus der Verschiedenartigkeit der beiden Regionen kann somit eine unterschiedliche Spreizungsgeschwindigkeit abgeleitet werden. Die Topographie in Region A deutet dabei auf eine geringere Spreizungsrate hin, wogegen die Topographie in Region B Merkmale einer höheren Spreizungsrate aufweist. Die beiden Regionen unterscheiden sich zusätzlich dadurch, dass die Untergliederung des Rückens in rund 100 km lange Segmente längs der Rückenachse nur in der Region A beobachtet werden kann. Somit ist auch der Zusammenhang der Spreizungsrate mit der Existenz der Diskontinuitäten wahrscheinlich.

Um weitergehende Aussagen zu den tektonischen Eigenschaften des Meeresbodens treffen zu können, ist die Berücksichtigung von Probenmaterial des Meeresbodens unumgänglich. So zeigten teilweise sehr alt-scheinende Strukturen eine frische Basaltglasbedeckung, wogegen typisch geformte Vulkankuppen aus peridotitischen Gesteinen bestanden (Snow 2002[32]).

6.3 Vergleich des Geländemodells mit der IBCAO

Die IBCAO ist ein digitaler Datensatz, der alle verfügbaren bathymetrischen Daten nördlich von 64° N in einem Raster mit einer Weite von 2.5 km zur Verfügung stellt. Sie wurde seit 1997 in Zusammenarbeit internationaler Institutionen unter der Organisation der IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission), der IHO (International Hydrographic Organization) und der IASC (International Arctic Science Committee) entwickelt und ist in der aktuellen Version 1.0 im Internet verfügbar. In Abb. 6.5 ist dem Rasterdatensatz der IBCAO das hochauflösende Geländemodell des Gakkel-Rückens gegenübergestellt. Die linke Abb. zeigt den Datensatz der IBCAO in einer Farbskala von blau (tief) bis rot (flach) im Arbeitsgebiet des westlichen Gakkel-Rückens. In der rechten Abb. ist zum Vergleich das neu berechnete, hochauflösende Geländemodell in das der IBCAO eingefügt. In diesen Abbildungen zeichnen sich auch die Regionen A, B und C (vgl. Abb. 6.1) mit verschiedenen topographischen Merkmalen ab.

Deutlich ist die Überdeckung des südlichen Arbeitsgebietes mit dem Lena-Trog zu

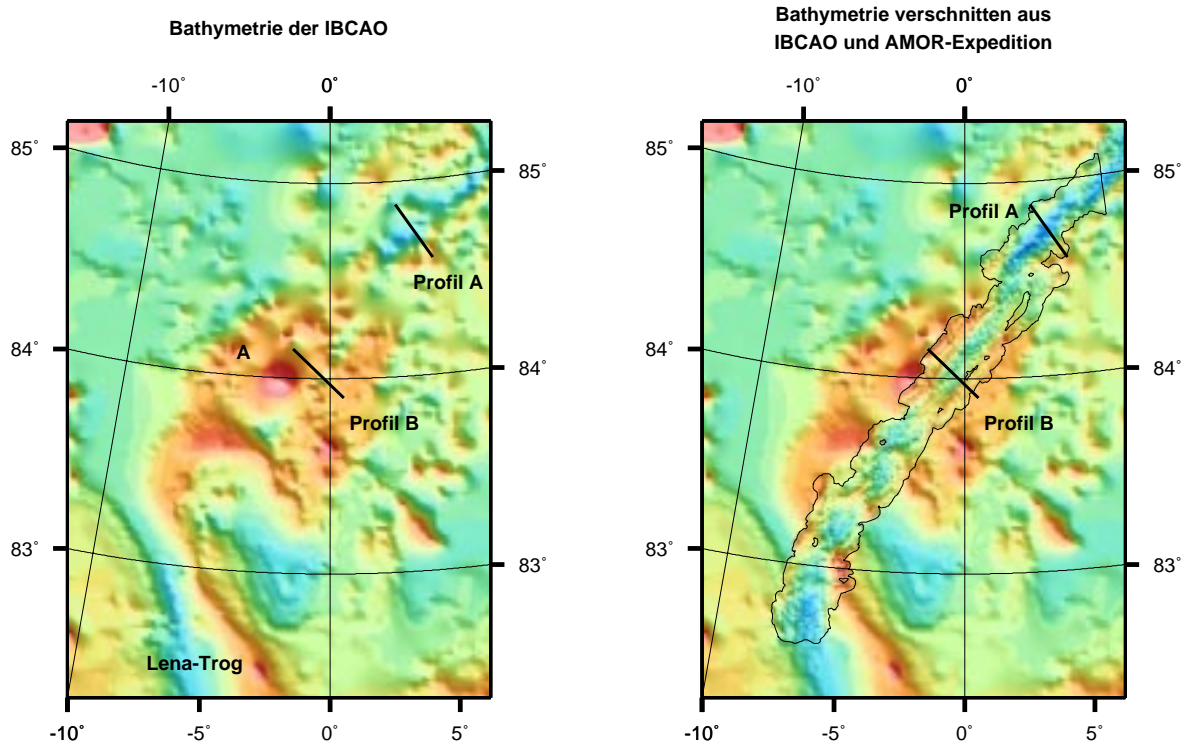


Abb. 6.5: Vergleich des neuen hochauflösenden Geländemodells mit dem Geländemodell der IBCAO (Jakobsson 2001[20][22])

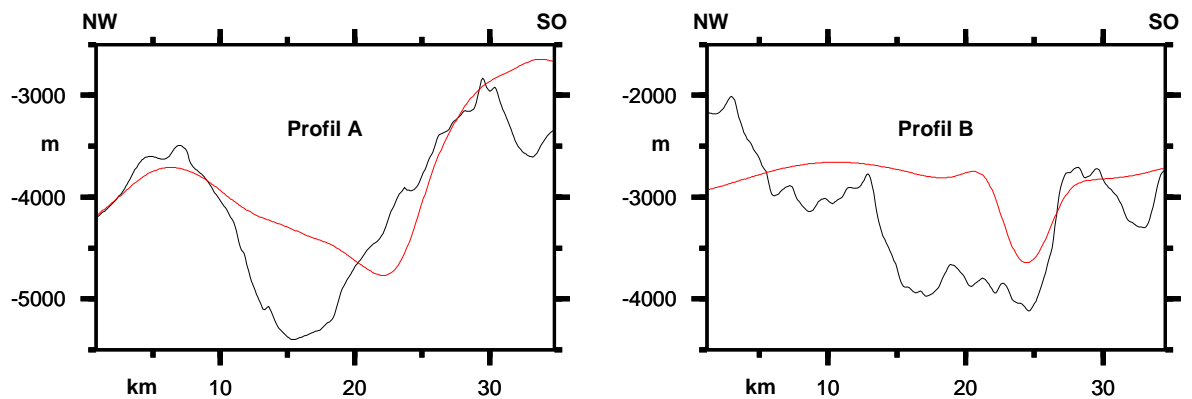


Abb. 6.6: Vergleich der neuen bathymetrischen Daten (schwarze Profillinien) mit der IBCAO (rote Profillinien) durch Profilschnitte über den Rücken (Positionen der Profilschnitte vgl. Abb. 6.2) (Jakobsson 2001[20][22])

sehen, aber auch, dass dieser Graben nicht (wie in der IBCAO dargestellt) weiter nach Nordosten verläuft, sondern auf direktem Wege nach Nordwesten in den Gakkel-Rücken mündet. In der Region B, zwischen dem Lena-Trog und $84^{\circ} 30' N$, treten noch größere Differenzen auf. Während in der IBCAO hier ein sehr mächtiger Seamount und das ihn umgebende Gebirgsplateau die Meeresbodentopographie prägt (Abb. 6.5, Bild A, Buchstabe A), wird das Plateau in der Kombination der beiden Datensätze von den Talflanken des Gakkel-Rückens durchschnitten. Diese Talstruktur war bisher nur andeutungsweise durch die Aneinanderreihung einiger Becken zu erkennen. Die Unterschiede werden nochmals in Abb. 6.6 verdeutlicht. Hier sind den Profilen aus Abb. 6.2 die Rückenprofile der IBCAO am gleichen Ort gegenübergestellt (rote Profillinien, Lage der Profilschnitte vgl. Abb. 6.5). Der Profilschnitt in Region B (Abb. 6.6, Profil B) zeigt deutlich, wie das vermeintliche Hochplateau durch das tatsächliche Rückenprofil durchschnitten wird. Die Höhendifferenzen betragen regional bis zu 2000 m. Die rote Profillinie im Profil B zeigt bei Profilkilometer 25 außerdem eines der Becken, die in der IBCAO durch vereinzelte Vertiefungen im Hochplateau einen Hinweis auf den Verlauf des Gakkel-Rückens geben. Es ist ca. 800 m tief und rund 5 km breit.

Das Rift-Tal in Region A ab $84^{\circ} 30' N$ dagegen zeichnet sich gut in der IBCAO ab. Wie Abb. 6.6 im Profil A zeigt, haben die Kuppen der Rückenflanken nahezu die gleiche Position und unterscheiden sich in der Höhe nur um rund 200 m. Dagegen liegt die Talsohle in der IBCAO ca. 500 m höher und 7 km weiter nach Süden versetzt. Die typische Asymmetrie der Rückenflanken ist in der IBCAO noch stärker ausgeprägt. Die Höhendifferenz der Rückenflanken beträgt nahezu 1000 m und der höher ansteigende Südhang ist mit ca. 12° deutlich steiler als der tiefere Nordhang mit einer Steigung von nur rund 4° .

7 Zusammenfassung und Ausblick

Während der *Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition* 2001 wurden bathymetrische Daten des Gakkel-Rückens aufgezeichnet, die aufgrund ihrer hohen Auflösung und Genauigkeit die Qualität der bisherigen Tiefeninformationen in dieser Region weit übertreffen. Die Daten, die mit den Fächersonarsystemen Hydrosweep DS-2 und Seabeam 2112 erfasst wurden, sind für die geologische und geophysikalische Einordnung des Gakkel-Rückens von großer Bedeutung. Sie ermöglichen eine geomorphologische Interpretation der Rückenstrukturen und unterstützen die Analyse geophysikalischer Messungen und tragen somit dazu bei, neue Erkenntnisse über die Prozesse der Bildung und des Aufbaus der Erdkruste zu gewinnen.

In der vorliegenden Arbeit werden die drei Bearbeitungsschritte beschrieben, die erforderlich waren, um den auf der AMOR-Expedition 2001 erfassten bathymetrischen Daten neue geowissenschaftliche Erkenntnisse abzugewinnen – die Aufbereitung, die Visualisierung und die Interpretation.

Aufbereitung der Messdaten

Die Aufbereitung der bathymetrischen Daten umfasste die Bereinigung von Navigations- und Tiefenmessfehlern im Programmsystem CARIS HIPS, die Normierung der Tiefen auf eine einheitliche Schalllaufzeit und die Berechnung des digitalen Geländemodells in ArcInfo.

Die Datenbereinigung zeigte die starke Beeinträchtigung der Datenqualität durch die hydroakustischen Störeinflüsse bei den Messfahrten im Eis. Das CARIS HIPS Programmsystem hat sich bei der Datenbereinigung bewährt. Die Filter zur Lokalisierung von Positions- und Tiefenfehlern sowie das *Surface Cleaning* erleichtern die Arbeit und ermöglichen zudem die Editierung der Messdaten nach objektiven Merkmalen.

Zur digitalen Modellierung des Geländes im Programmsystem ArcInfo wurde der Berechnungsansatz *Inverse Distance Weighting* gewählt. Um den Einfluss des Messrau-

schens zu minimieren und das DGM zu glätten, wurde das Geländemodell in Abhängigkeit von der Hangneigung gefiltert. Die Untersuchung der Qualität des digitalen Geländemodells in einem Testgebiet ergab eine mittlere empirische Standardabweichung von 0.6 % der Wassertiefe. Somit konnte die digitale Modellierung des Geländes innerhalb der Messgenauigkeit der Fächersonarsysteme von 1 % der Wassertiefe realisiert werden.

Die Gegenüberstellung von Geländemodellen, die jeweils aus Messdaten nur eines Fächersonares berechnet wurden, zeigte weitestgehend übereinstimmende Messergebnisse, aber auch, dass die Dichte der Messdatenüberdeckung auf dem Meeresboden von großer Bedeutung für die Modellierung der Oberfläche ist. Die maximalen Differenzen bis 3 % der Wassertiefe entstehen in Gebieten mit starker Hangneigung und an der Grenze des Messgebietes. Die gemeinsame Auswertung der Messdaten beider Fächersonarsysteme trägt somit zur Qualitätssteigerung des Geländemodells bei.

Visualisierung des digitalen Geländemodells

Die aufbereiteten Tiefendaten wurden im Programmsystem ArcInfo in drei bathymetrischen Karten im Maßstab 1 : 150 000 visualisiert, die den südwestlichen Teil des Gakkelerückens zwischen 9° W/82° 35' N und 6° 30' E/85° N abbilden. Aus dem geglätteten digitalen Geländemodell wurden dazu Tiefenlinien mit einer Äquidistanz von 50 m abgeleitet, die in der Karte mit farblich dargestellten Tiefenstufen hinterlegt sind. Die dreidimensionale Darstellung des DGM im Programm *Fledermaus* dient vor allem der Veranschaulichung der morphologischen Strukturen.

Interpretation der Topographie

Zur Interpretation der Topographie wurde das Arbeitsgebiet in drei Regionen mit verschiedenen topographischen Eigenschaften unterteilt. Im Nordosten zeigt der Gakkelerücken ein für langsam spreizende Mittelozeanische Rücken typisches Relief, dessen Merkmale das tief eingeschnittene Zentraltal und die Asymmetrie der Rückenflanken sind. Die zentrale Region ist gekennzeichnet von einem weniger tief eingeschnittenen Zentraltal, dessen Sohle durch Höhenrücken längs der Talrichtung charakterisiert ist. Die Meeresbodentopographie in Region C ist von einem weiten Tal geprägt, dessen Flanken weniger hoch aufragen, als in den anderen Regionen. Die Verschiedenartigkeit der Topographie in den drei Regionen weist auf unterschiedliche Spreizungsgeschwindigkeiten hin.

Der abschließende Vergleich der neuen bathymetrischen Erkenntnisse mit den Tiefeninformationen der IBCAO zeigte teilweise Übereinstimmungen, aber auch Unterschiede von bis zu 2000 m.

Ausblick

Die auf der AMOR-Expedition 2001 aufgezeichneten Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit nur zu einem Teil ausgewertet. Um ein Abbild der Topographie des gesamten Gakkel-Rückens zu erhalten, ist es notwendig, die bathymetrischen Informationen in mindestens sieben weiteren Karten darzustellen. Dazu ist die Aufbereitung der Daten wie in der vorliegenden Arbeit erforderlich.

Großes Potenzial zur morphologischen und geologischen Analyse der Meeresbodenoberfläche beinhalten die aufgezeichneten Sidescan-Daten beider Fächersonarsysteme. Sie bieten eine hohe räumliche Auflösung und sind dadurch in der Lage, Feinstrukturen des Meeresbodens zu erfassen, die von den bathymetrischen Messungen nicht mehr aufgelöst werden (*Blondel & Bramley* 1997[8]).

Die Stärke des reflektierten Signals ermöglicht weitere wertvolle Analysen der Sidescan-Daten. Durch die Dämpfung des Schallsignals in der Sedimentschicht des Meeresbodens wird die Stärke des reflektierten Echos reduziert (*Urick* 1983[35]). Aus dem akustischen Reflexionsverhalten des Meeresbodens sind somit Aussagen über die Beschaffenheit des dort vorhandenen Materials abzuleiten. Diese Eigenschaften erlauben es beispielsweise, Gebiete, die mit einer Sedimentschicht überdeckt sind, von Lava-Feldern zu differenzieren (*Edwards et al.* 2001[14]), wodurch weitere Erkenntnisse über die tektonischen Aktivitäten gewonnen werden.

Die bathymetrischen Daten der Forschungsfahrt liefern zwar sehr genaue, aber dennoch unvollständige Informationen über die Topographie des Gakkel-Rückens, da nur ein 25 bis 55 km breiter Streifen entlang des Zentraltals vermessen wurde. Dadurch stehen zur Interpretation der Topographie der äußeren Flanken des bis 200 km breiten Rückens nur Tiefeninformationen geringerer Qualität zur Verfügung, wie zum Beispiel die Tiefendaten des SCICEX-Projektes. Die relativen Lage- und Tiefenwerte dieser Messdaten enthalten systematische Fehler, die sich durch den Vergleich der Daten mit einem hochgenauen Geländemodell reduzieren lassen. Wenn die geometrische und bathymetrische Korrektur der SCICEX-Daten mithilfe des hochgenauen Geländemodells der Fächersonarvermessungen gelingt, kann ein qualitativ hochwertiges und großräumiges Modell der Meeresbodentopographie am Gakkel-Rücken erzeugt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] AMORE Shipboard Scientific Parties of USCGC Healy and RV Polarstern. Results of the Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition – AMORE 2001 – Seafloor Spreading at the Top of the World. *InterRidge News, Tokyo, Japan*, Vol 10(2):57–60, 2001. [67](#)
- [2] Archives of the AARI. Short Biography of Yakov Gakkel, According to documentation obtained from the archives of the AARI, St. Petersburg (unpublished). [2](#)
- [3] W. Arntz. (Ed.) Erfassung und Auswertung bathymetrischer Vermessungen mit dem Hydrosweep DS II Multibeam System. *Expeditionsprogramm Nr. 46, FS Polarstern - ANTARKTIS XV/1-2*, S. 26–29, 1997. [12](#)
- [4] ATLAS. *Hydrosweep DS-2, Service Manual, Vol. 1*. STN Atlas Electronic, erste Auflage, 1997. [13](#)
- [5] M. Bauer. *Vermessung und Ortung mit Satelliten*. Wichmann Verlag, Karlsruhe, zweite Auflage, 1992. [16](#)
- [6] A. Baumann. *Vermessungskunde, Band 1 – Einfache Lagemessung und Nivellement*. Dümmler Verlag, Bonn, vierte Auflage, 1994. [37](#)
- [7] A. Beyer. Hochauflösende Bathymetrie am europäischen Kontinentalhang. In *Dokumentation Hydrographentag 2001*, S. 1–7. Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V., 2001. [35](#)
- [8] P. Blondel & J. M. Bramley. *Handbook of Seafloor Sonar Imagery, Wiley-Praxis Series in Remote Sensing*. Wiley Book Company, 1997. [56](#)
- [9] E. Bonatti. Der Erdmantel unter den Ozeanen. *Spektrum der Wissenschaft*, pp. 54–62, Mai 1994. Spektrum der Wissenschaft Verlag GmbH. [5, 5](#)

- [10] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie Leipzig. Sichtbarkeitsberechnungen für GPS und GLONASS, GPS-Informations- und Beobachtungssystem (GIBS). URL: <http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/> (19.07.2002). 16
- [11] CARIS Geographic Information Systems BV. *CARIS HIPS 5.1 User's Guide*, 2001. 17
- [12] CARIS Universal Systems Ltd. *CARIS HIPS/SIPS on Windows NT Training Notes*, 2001. 18
- [13] C. DeMets, R. G. Gordon, D. F. Argus & S. Stein. Current plate motions. *Geophysical Journal International*, Vol. 101:425–478, 1990. 6
- [14] M. H. Edwards et al. Evidence of recent volcanic activity on the ultraslow-spreading Gakkel ridge. *Nature*, Vol. 409:808–812, 2001. 9, 56
- [15] G. H. Eisbacher. *Einführung in die Tektonik*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, erste Auflage, 1991. 5
- [16] W. Frisch & J. Loeschke. *Plattentektonik*. Wissenschaftliche Buchgemeinschaft, Darmstadt, dritte Auflage, 1993. 5, 6, 7, 7, 48
- [17] G. Hake & D. Grünreich. *Kartographie*. Walter de Gruyter Verlag Berlin, New York, siebente Auflage, 1994. 29
- [18] Interactive Visualization Systems Inc. (IVS). *Fledermaus User's Guide, Version 5.1*, 2002. 45
- [19] M. J. Jacobs. Analyses of High Resolution Bathymetric Data in the Eltanin Impact Area. Master's thesis, Delft University of Technology, Dezember 2001 (unpublished). 30
- [20] M. Jakobsson, N. Z. Cherkis, J. Woodward, R. Macnab & B. Coakley. New grid of Arctic bathymetry aids scientists and mapmakers. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, Vol 81(no.9):89, 93, 96, 2001. 52, 52, 67
- [21] M. Jakobsson, R. Macnab & Members of the Editorial Board of IBCAO. *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO), Beta Version, Technical Reference and User's Guide*, 2001. 10
- [22] M. Jakobsson & IBCAO Editorial Board Members. Improvement to the International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO): Updating the Data Base and the Grid Model. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, Vol 84, 2001. 52, 52, 67

- [23] S. Judson & M. E. Kauffman. *Physical Geology*. Englewoods Cliff, New Jersey, eighth edition, 1990. 1
- [24] M. Klenke. *AWI Bathymetric Chart of the Fram Strait (AWI BCFS)*. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, 2002. 45
- [25] Y. Kristoffersen. The Nansen Ridge, Arctic Ocean: Some geophysical observations of the rift valley at slow spreading rate. *Tectonophysics*, Vol. 89:161–172, 1982. 2, 48
- [26] P. Michael, W. Jokat, J. Snow, C. Devey, C. Langmuir & H. Dick. International Gakkel Ridge Icebreaker Cruise in Summer 2001. *InterRidge News, Tokyo, Japan*, Vol 10(1):45–47, 2001. International Ridge-Crest Research, Initiative for international cooperation in ridge-crest studies. 6
- [27] H. Miller. *Abriß der Plattentektonik*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, erste Auflage, 1992. 1, 4
- [28] C. Müller & W. Jokat. Seismic evidence for volcanic activity discovered in central Arctic. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 81(Nr. 24):265–269, 2000. 6
- [29] D. T. Sandwell & W. H. F. Smith. Global Bathymetric Prediction for Ocean Modelling and Marine Geophysics. URL: http://topex.ucsd.edu/marine_topo/text/topo.html (09.08.2002), 1996. 9
- [30] H. W. Schenke. Die Fächersonaranlage Hydrosweep, Ein neues System zur flächenhaften Vermessung des Meeresbodens. *Die Geowissenschaften*, Nr. 6:161–169, 1990. VCH Verlagsgesellschaft. 12
- [31] C. Small. Global Systematics of Mid-Ocean Ridge Morphology. In *Faulting and Magmatism at Mid-Ocean Ridges*, pp. 1–25, Washington D. C, 1998. American Geophysical Union. 1, 7, 8
- [32] J. E. Snow. Petrogenesis of Crustal Rocks. In J. Thiede, editor, *Cruise Report: AMORE 2001, Reports on Polar and Marine Research, 421*, pp. 118–164, Bremerhaven, 2002. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research. 51
- [33] Thales GeoSolutions Group Ltd. SkyFix Services Description. URL: <http://www.thales-geosolutions.com/skyfix/skyfix.html> (15.07.2002). 16
- [34] J. Thiede, D. L. Clark & Y. Herman. The Arctic Ocean Region. In *The Geology of North America*, volume L, pp. 427–458, Boulder Colorado, 1990. Geological Society of America. 7

- [35] R. J. Urick. *Principles of Underwater Sound*. McGraw-Hill Book Company, New York, third edition, 1983. 56
- [36] US Coast Guard. Scientific Equipment & Systems of USCGC Healy. URL: http://www.uscg.mil/pacarea/iceops/cpmanual/Sect.2_SCI-EQUIP+SYS/Sect.2_SCI-EQUIP_SYS.htm (02.07.2002). 14
- [37] J. R. Weber. Physiography and Bathymetry of the Arctic Ocean Seafloor. In *The Arctic Seas*, pp. 797–828, New York, 1989. Van Nostrand Reinhold Company. 11

A Abkürzungen

AML	<i>Arc Macro Language</i>
AMORE	<i>Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
AWI	Alfred-Wegener-Institut
CARIS	<i>Computer Aided Resource Information System</i>
CTD	<i>Conductivity - Temperature - Density</i>
DGM	Digitales Geländemodell
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GIBS	GPS-Informations- und Beobachtungssystem
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GMT	<i>Generic Mapping Tools</i>
HDCS	<i>Hydrographic Data Cleaning System</i>
HIPS	<i>Hydrographic Information Processing System</i>
HYDROSWEEP-DS	Hydrographic multibeam sweeping survey echosounder - deep sea
IASC	<i>International Arctic Science Committee</i>
IBCAO	<i>International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean</i>
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IHO	<i>International Hydrographic Organization</i>
IOC	<i>Intergovernmental Oceanographic Commission</i>
IVS	<i>Interactive Visualization Systems Inc.</i>
INMARSAT	<i>International Maritime Satellite</i>
MINS	<i>Marine Internal Navigation System</i>
MOR	Mittelozeanischen Rücken
NACOS	<i>Integrated Navigation and Command System</i>
netCDF	<i>network Common Data Form</i>
ODV	<i>Ocean Data View</i>
PFB	<i>Preformed beam</i>
PODAS	Polarstern-Datenmanagement-System
RV	<i>Research Vessel</i>

A Abkürzungen

SCAMP	<i>Seafloor Characterization and Mapping Pods</i>
SCICEX	<i>Science Ice Exercises</i>
SONAR	<i>Sound navigation and ranging</i>
SURF	Sensor-Unabhängiges-Rohdaten-Format
SVP	<i>Sound Velocity Profile</i>
USCGC	<i>United States Coast Guard Cutter</i>

B Zusammenstellung vergrößerter Abbildungen

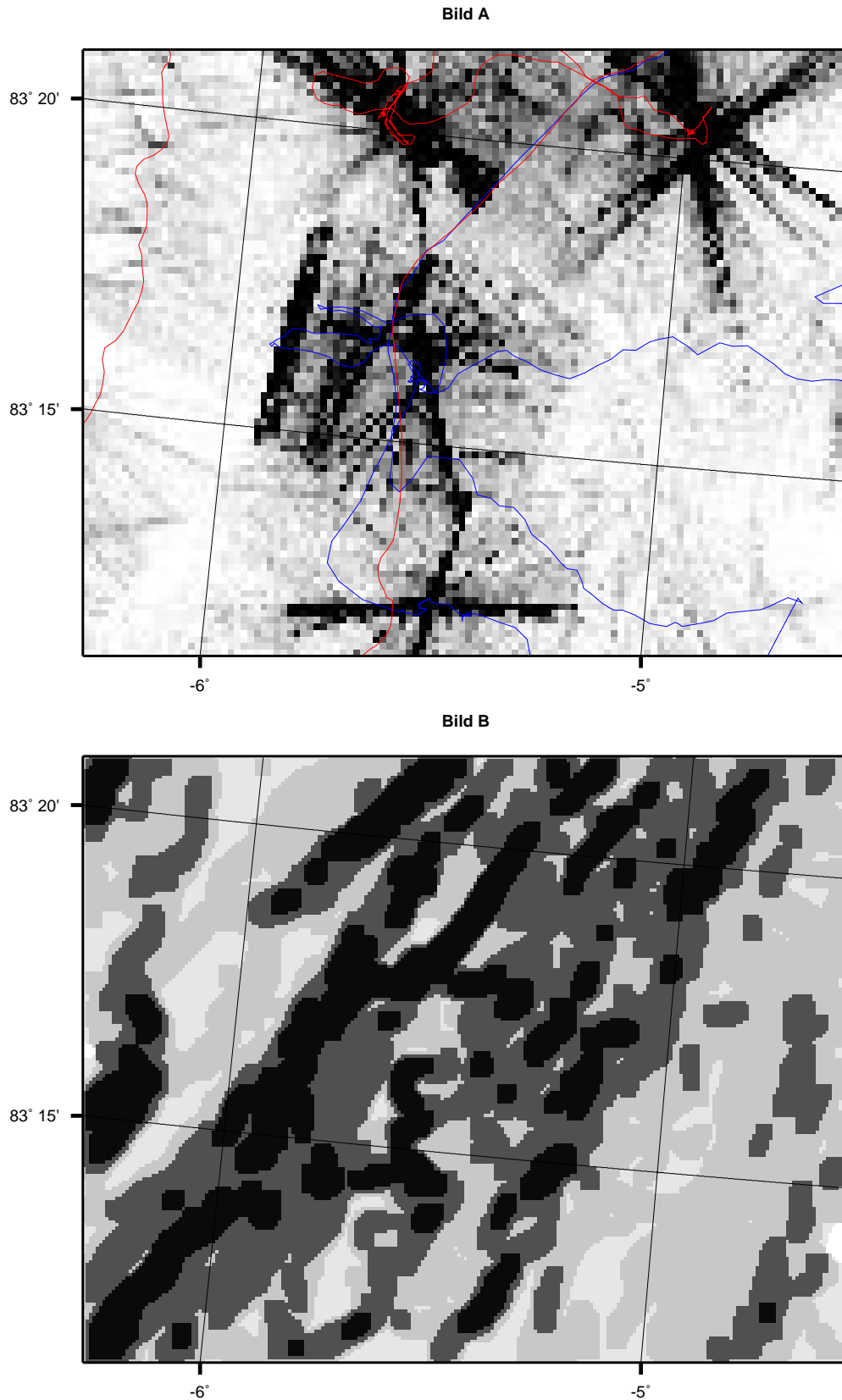


Abb. B.1: Vergrößerte Darstellung der Punktdichte und Fahrtlinien der Vermessungsschiffe im Testgebiet (Bild A, Fahrtlinie der „Polarstern“ blau, der „Healy“ rot) und Hangneigung in vier Klassen von $< 10^\circ$ bis $> 45^\circ$ (Bild B)

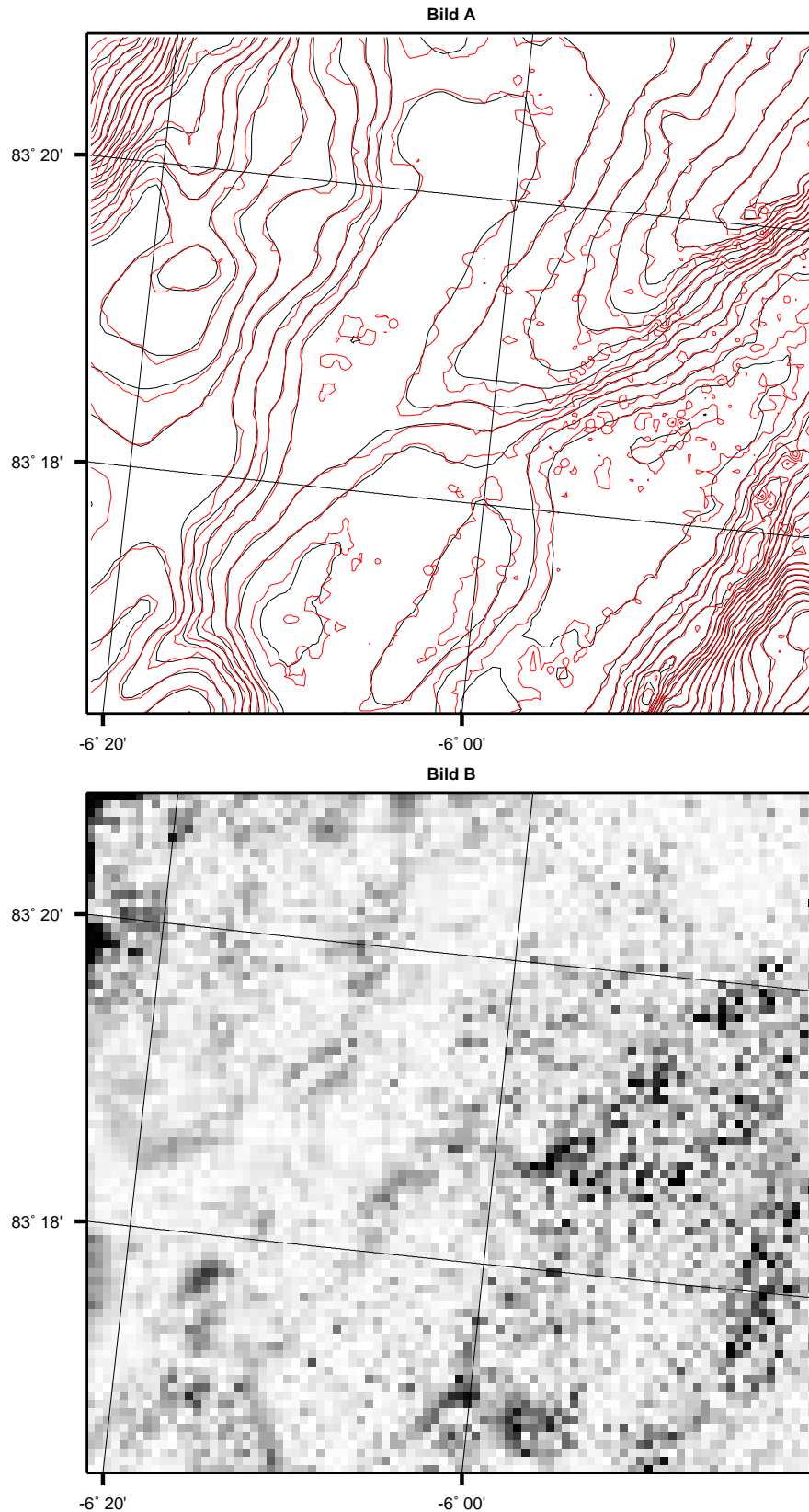


Abb. B.2: Ausschnitt aus dem Testgebiet mit Isolinien aus DGM-1 (rot) und DGM-2 (schwarz) (Bild A) und Differenz des DGM-1 und DGM-2 (Bild B), wobei geringe Differenzen hell und hohe Werte (max. 50 m) dunkel dargestellt sind

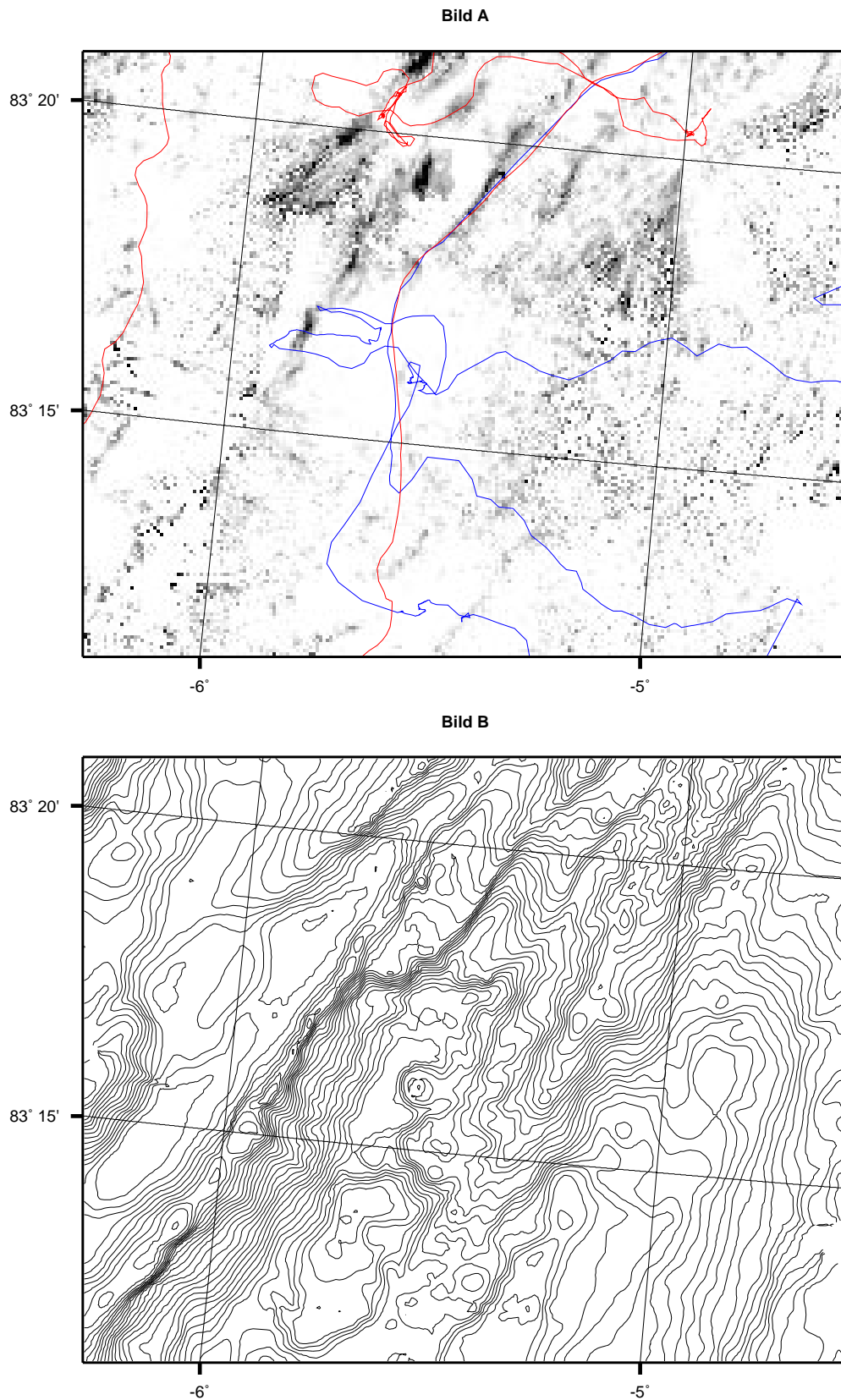


Abb. B.3: Vergrößerte Darstellung der regionalen Verteilung der empirischen Standardabweichung im Testgebiet (Bild A, Fahrtlinie der „Polarstern“ in blau, der „Healy“ in rot) und Isobathen mit einer Äquidistanz von 50 m aus dem geglätteten Geländemodell (Bild B)

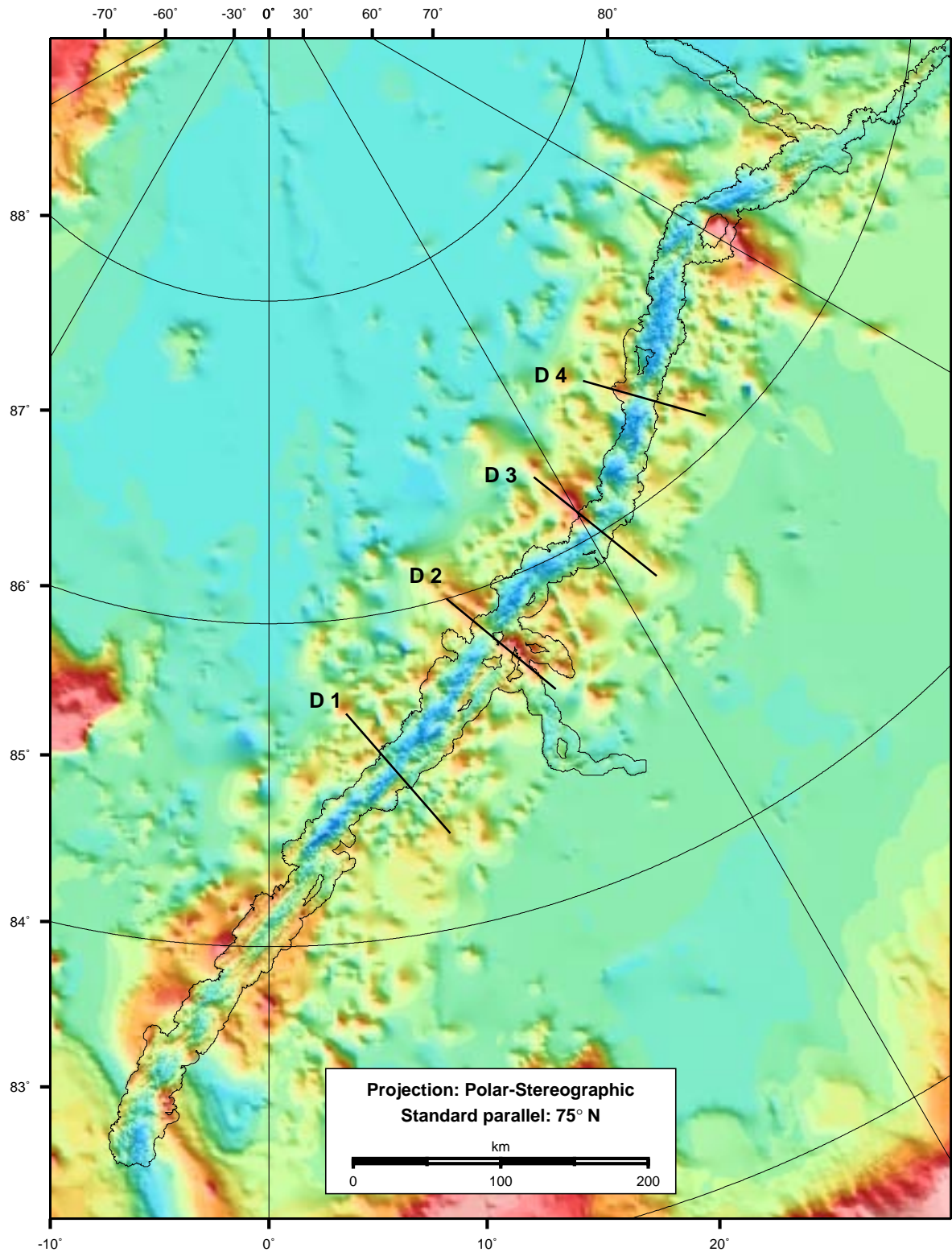


Abb. B.4: Gesamtgebiet der Vermessung des Gakkel-Rückens auf der AMOR-Expedition 2001 (*AMORE Shipboard Scientific Parties 2001*[1]). Die Tiefeninformationen des umgebenden Gebietes beruhen auf der IBCAO Vol. 1.0 (*Jakobsson 2001*[20][22])

C Auswertung der CTD-Profile

Im Folgenden werden die Profilmessungen der CTD-Sonde der AMOR-Expedition 2001 ausgewertet, die westlich des 8°-E-Längengrades liegen und somit relevant sind für die während dieser Arbeit ausgewerteten Tiefenmessungen. Dazu gehören fünf Profile, von denen eines nicht mit den Kalibrierdaten des Hydrosweep DS-2 verglichen werden kann. Der Messdatensatz des Echolotes konnte aufgrund eines Systemfehlers während des Zeitraumes der Messung der CDT-Sonde nicht prozessiert werden.

Um aus den Daten der CTD-Messung die Schallgeschwindigkeiten c_{mean} und c_{keel} zu erhalten, wurde zunächst mit dem Programm *odv* aus den Messdaten der CTD-Sonde ein Schallgeschwindigkeitsprofil durch die Wassersäule berechnet. Daraus wurden jeweils ca. 15 Werte, die den Verlauf der Profilkurve wiedergeben, entnommen und in die Formulare auf den nächsten Seiten übertragen. Diese Werte dienten anschließend dazu, im Programm *Hydromap Online* ein Schallgeschwindigkeitsprofil zu erzeugen, woraufhin c_{mean} und c_{keel} berechnet wurden. Die so berechneten Werte konnten daraufhin den Ergebnissen der Kalibrierung gegenübergestellt werden.

Tab. C.1: Auswertung der CTD-Messungen und Vergleich mit der automatischen Kalibrierung des Hydrosweep DS-2 (Wasserschallgeschwindigkeiten c jeweils in $\frac{m}{s}$)

CTD-Profile			Kalibrierergebnisse		Differenz	
Profil-Nummer	c_{keel}	c_{mean}	c_{keel}	c_{mean}	c_{keel}	c_{mean}
207-1	1438.0	1475.9	–	–	–	–
212-2	1438.0	1475.6	1439.4	1474.9	-1.4	0.7
217-1	1437.4	1478.2	1438.7	1480.7	-1.3	-2.5
230	1438.0	1475.6	1439.1	1477.6	-1.1	-2.0
237-1	1437.5	1475.6	1439.2	1476.4	-1.7	-0.8

Der Vergleich der CTD-Messungen mit den Ergebnissen der Kreuzfächerkalibrierung

ist in Tab. C.1 aufgeführt. Er zeigt, dass die c_{keel} -Werte aus der automatischen Kalibrierung des Hydrosweep jeweils um $1.1 \frac{m}{s}$ bis $1.7 \frac{m}{s}$ größer sind, als die Ergebnisse aus der CTD-Messung. Dagegen schwanken die Differenzen der c_{mean} -Werte zwischen $0.7 \frac{m}{s}$ und $-2.5 \frac{m}{s}$. Auf Grundlage der Wasserschallbestimmung durch die CTD-Messung wurden die Wassertiefen und die seitlichen Ablagen der PFB neu berechnet. Die Änderungen, die sich daraus in der Tiefe und den seitlichen Ablagen ergaben, liegen deutlich unter der Messgenauigkeit des Echolotsystems von 1%. Die in der Tabelle aufgeführten Differenzen in c_{keel} und c_{mean} sind also vernachlässigbar klein.

D Dokumentation des Programms depth2sound.pl

D.1 Programmbeschreibung

Das Programm *depth2sound.pl* wurde erstellt, um die originalen Tiefen auf eine Wasserschallgeschwindigkeit von $1500 \frac{m}{s}$ zu normieren. Die originalen Tiefen werden aus der Datei gelesen, die durch das Programm CARIS HIPS nach Beendigung der Datenbereinigung erstellt wird. Die Information über die originale Wasserschallgeschwindigkeit kann aus zwei verschiedenen Dateien entstammen. Die mittlere Wasserschallgeschwindigkeit c_{mean} des Hydrosweep-Datensatzes wird einer HYDI-Datei (vgl. Kap. 3.8) entnommen. Das Schallgeschwindigkeitsprofil des Seabeam-Datensatzes wird der Datei entnommen, die mit dem Programm *mb_svp2svp.pl* (vgl. Anhang E) erstellt wird (SVP*-Datei). Die Ausgabe der normierten Tiefen und der dazugehörigen Positionsdaten erfolgt in einer dreispaltigen ASCII-Datei.

Zusätzlich zur Berechnung der normierten Tiefe kann mit der Programmoption *-d* die Ausgabe der originalen Tiefe im Ausgabeformat erwirkt werden. Diese Funktion wird von dem Unterprogramm *depths* gelöst. Die Programmoption *-a* ermöglicht die Funktion, dass zu einer individuellen Entwicklungstiefe die mittlere Schallgeschwindigkeit c_{mean} aus dem Schallgeschwindigkeitsprofil des Seabeam-Datensatzes berechnet und ausgegeben wird. Dazu wurde das Unterprogramm *cmean_only* erstellt. Diese Programmoptionen wurden nachträglich in das Programm aufgenommen, um den vorhandenen Quelltext für zusätzliche Aufgaben zu nutzen.

Zu Beginn des Programms wird der Name der HIPS-Datei mit den originalen Tiefen abgefragt (Zeile 10–20), sofern er nicht mit der Option *-f* beim Programmaufruf eingegeben wurde. Ebenso kann der Name der Ausgabedatei mit der Option *-o* beim Programmstart festgelegt werden. Andernfalls setzt sich der Name der Ausgabedatei zusammen aus dem Namen der Eingangsdatei und dem Suffix *lls* (Z. 22–24). Wenn die

Option *-d* beim Start des Programms angegeben wurde, springt der Programmablauf im Anschluss an die Benennung der Ausgabedatei in die Subroutine *depths*. Andernfalls erfolgt die Abfrage, ob die Schallgeschwindigkeit aus einer HYDI oder einer SVP*-Datei eingelesen werden soll. Der einzugebende String *HYDI* oder *SVP* wird der Variablen *\$c_input* zugeordnet, die später im Programmablauf dazu verwendet wird, die Schallgeschwindigkeit aus der richtigen Datei einzulesen. Mit der Option *-c* kann die Quelle der Schallinformation ebenfalls beim Programmstart festgelegt werden. Der Name der Datei mit den Schallgeschwindigkeitsdaten kann ebenfalls beim Programmstart angegeben werden (Option *-i*). Andernfalls wird der Name der Datei vom Programm abgefragt (Z. 36–42).

Um zu gewährleisten, dass zur Berechnung der normierten Tiefen immer aktuelle Schallinformationen genutzt werden, wird die zeitliche Differenz zwischen der letzten und der kommenden mittleren Schallgeschwindigkeit laufend kontrolliert. Übersteigt die Differenz einen bestimmten Betrag, wird ein Kommentar in einer LOG-Datei erzeugt, der Auskunft über den Zeitpunkt des Schallgeschwindigkeitswertes gibt, an dem die Überschreitung der Zeitdifferenz aufgetreten ist. Die Größe der erlaubten Zeitdifferenz wird in der Variablen *\$timeDIFFcmean* gespeichert und kann mit der Option *-z* beim Programmaufruf gesetzt werden. Der voreingestellte Wert der Variablen *\$timeDIFFcmean* liegt bei 3600 Sekunden.

Nachdem nun alle erforderlichen Informationen zur Verfügung stehen und die Subroutinen *c_input_check* und *prevent_replace* die korrekte Eingabe der Variablen *\$c_input* bzw. das Vorhandensein einer Datei mit dem gleichen Namen der Ausgabedatei überprüft haben, werden durch die Subroutine *init_vars* die Variablen initialisiert. Ab Zeile 52 werden die Dateien mit den Schallgeschwindigkeiten, den originalen Tiefen, die Ausgabedatei sowie die LOG-Datei zum Lesen bzw. Schreiben geöffnet. Daraufhin wird die erste Zeile der HIPS-Datei durch den Aufruf der Subroutine *inputHIPS* eingelesen (Z. 58). In dem Unterprogramm (ab Z. 257) wird nach dem Einlesen der Daten die Subroutine *time_calcHIPS* gestartet (Z. 304). Diese konvertiert die eingelesenen Zeitinformationen Uhrzeit, Tag und Jahr in ein einheitliches Zeitformat. Dieses setzt sich zusammen aus der Jahreszahl in vier Stellen und den Sekunden des Jahres in den folgenden acht Stellen. In diesem Zeitformat können alle einzulesenden Werte gegenübergestellt werden.

In den Zeilen 63 und 64 werden die Unterprogramme *inputC1* und *inputC2* aufgerufen, welche die erste und zweite mittlere Schallgeschwindigkeit aus der angegebenen HYDI- oder SVP*-Datei liefern. In den jeweiligen Unterprogrammen dient der Wert der Variablen *\$c_input* dazu, die Subroutine *inputHYDI* oder *inputSVP* zu starten, in denen der Zugriff auf die Wasserschalldaten erfolgt. Das Unterprogramm *inputSVP*

beinhaltet sowohl die Einleseroutine aus der SVP*-Datei, sowie auch die Berechnungsroutine, um aus dem Schallgeschwindigkeitsprofil die mittlere Schallgeschwindigkeit für die jeweilige originale Tiefe zu bestimmen. Die beiden Unterprogramme liefern jeweils die Zeit und die mittlere Schallgeschwindigkeit zurück.

In Zeile 70 beginnt die Schleife, in der die Berechnung der normierten Tiefen und die Ausgabe erfolgt. Darin wird zuerst geprüft, ob der Zeitpunkt der Tiefenmessung bereits nach dem Zeitpunkt des zweiten c_{mean} -Wertes liegt. Wenn dies der Fall ist, werden so lange neue c_{mean} -Werte eingelesen, bis diese Bedingung nicht mehr erfüllt ist. Daraufhin erfolgt der Vergleich der Zeitdifferenz zwischen der aktuellen und der folgenden c_{mean} -Bestimmung und der tolerierten Zeitdifferenz $timeDIFFcmean$. Die Bedingung der Schleife ab Zeile 85 sichert, dass der Zeitpunkt der Tiefenmessung zwischen der aktuellen und folgenden c_{mean} -Bestimmung liegt. In dem Fall, dass der Zeitpunkt der ersten Tiefenmessung bereits vor dem ersten c_{mean} -Wert liegt, wird das Programm beendet. Ist die Bedingung erfüllt, wird die normierte Wassertiefe $sounding$ aus der originalen Tiefe $depth$, der aktuellen mittleren Wasserschallgeschwindigkeit $cmean1$ und der normierten Wasserschallgeschwindigkeit von $1500 \frac{m}{s}$ berechnet.

Die Ausgabe der geographischen Länge $LONdegHIPS$, geographischen Breite $LATdegHIPS$ und der normierten Tiefe erfolgt im Anschluss daran in den Zeilen 89 bis 92. Nachdem durch den erneuten Aufruf des Unterprogramms *inputHIPS* die nächste Datenzeile aus der Datei mit den originalen Tiefen eingelesen wurde, beginnt der nächste Durchlauf der Berechnungsschleife.

Das Unterprogramm *filecheck* (ab Z. 443) überprüft, ob gegebenenfalls das Ende der Eingangsdateien erreicht ist. Die Variable $eofDAT1$ bzw. $eofDAT2$ wird in diesem Fall auf den Wert -1 gesetzt. Bevor eine neue Zeile aus einer Datei gelesen wird, erfolgt jeweils die Abfrage dieser Variable, um gegebenenfalls die Berechnungsschleife zu verlassen und das Programm zu beenden.

Die Programmiersprache *perl* ist eine leistungsfähige Skriptsprache. Sie ist universell einsetzbar, plattformunabhängig, leicht zu lernen und bietet viele Möglichkeiten zum Verarbeiten von Dateiinhalten. Sie wurde aufgrund des geringen Zeitaufwandes zur Programmierung der notwendigen Berechnungen genutzt. Die Nachteile der Programmiersprache sind, dass der Quelltext teilweise schwer zu lesen ist und die Ausführung des Programms etwas langsamer ist, als die eines kompilierten Programms.

D.2 Quelltext

```
1 #!/usr/local/bin/perl
2 #
3 use vars qw($opt_f $opt_c $opt_i $opt_o $opt_z &opt_d $opt_a $opt_b
4   $opt_h);
5 use Getopt::Std;
6
7 getopts('f:c:i:o:z:dabh');
8 &help() if ($opt_h);
9 &cmean_only() if ($opt_a);
10
11 if ($opt_f)
12   {
13     $fnameHIPS = $opt_f;
14     $fnameLLS = $opt_f;
15   }
16 else
17   {
18     print '      Name der HIPS ascii-Datei eingeben: ';
19     chomp($fnameHIPS = <STDIN>);
20     $fnameLLS = $fnameHIPS;
21   }
22
23 if ($opt_o)
24   { $fnameLLS = $opt_o; }
25 else { substr($fnameLLS, -3, 3) = "lls"; }
26
27 &depths() if ($opt_d);
28
29 if ($opt_c)
30   { $c_input = $opt_c; }
31 else
32   {
33     print '      Schallgeschwindigkeit aus [HYDI] oder [SVP]: ';
34     chomp($c_input = <STDIN>);
35   }
36
37 if ($opt_i)
38   { $fnameC = $opt_i; }
39 else
40   {
41     print '      Name der C-Datei eingeben: ';
42     chomp($fnameC = <STDIN>);
43   }
44
45 if ($opt_z)
46   { $timeDIFFcmean = $opt_z; }
```

```
46     else { $timeDIFFcmean=3600; }
47
48     &c_input_check();
49     &prevent_replace();
50     &init_vars();
51
52     open (DAT1, "<${fnameC}")||die "\n Error: can't read input file:
    ${!\n";
53     open (DAT2, "<${fnameHIPS}")||die "\n Error: can't read input
    file: ${!\n";
54     open (DAT3, ">${fnameLLS}");
55     open (DAT4, ">${fnameLOG}");
56
57 # === Einlesen der ersten Zeile aus HIPS - Datensatz ===
58     &inputHIPS();
59     $c++;
60
61 #=== Einlesen der ersten beiden Zeilen aus C-Dateien ===
62
63     &inputC1();
64     &inputC2();
65
66 #=== Hauptteil:
67 # Einlesen der HIPS - Daten und Aktualisieren der $cmean
68 # aus HYDI-Datei ===
69
70 MAIN: while ( )
71 {
72
73     while ($zeitHIPS > $zeitC2)
74     {
75         &swap_varsC();
76         &filecheck();
77         &inputC2();
78     }
79
80     if ($timeDIFFcmean <= ($zeitC2-$zeitC1))
81     { &make_LOG(); }
82
83 #=== Berechnungs- und Ausgaberroutine
84
85     if ($zeitHIPS >= $zeitC1 && $zeitHIPS <= $zeitC2)
86     {
87         $sounding = -1500 * ($depth / $cmean1);
88
89         printf DAT3 ("%12.7f", $LONdegHIPS);
90         printf DAT3 ("%12.7f", $LATdegHIPS);
91         printf DAT3 ("%9.1f", $sounding);
92         print DAT3 "\n";
```

```
93
94 # === prueft Eingangsdateien auf EOF ===
95     &filecheck();
96 # === neue Datenzeile aus HIPS ascii Datensatz ===
97     &inputHIPS();
98     $c++;
99     }
100 else
101     {
102     print "\nSchwerer Ausnahmefehler\n";
103     print "Zentrierung der Datenpaare unplausibel\n";
104     exit;
105     }
106
107 }
108
109 close (DAT1);
110 close (DAT2);
111 close (DAT3);
112 close (DAT4);
113
114 print "      Informationen zum Programmdurchlauf in
115     depth2sound.LOG\n";
116
117 #===== Subroutinen =
118 #=====
119 sub init_vars {
120     @tiefe_svv = (); # Feldvariable mit C-Profil
121     $zeitC = 0; # zu cmean zugehöriger Zeitpkt
122     $zeitC1 = 0; # Zeitpkt des letzten cmean
123     $zeitC2 = 0; # Zeitpkt des kommenden cmean
124     $zeitHIPS = 0; # Zeitpkt der Tiefenmessung
125     $cmean = 0; # mittlere Schallgeschwindigkeit
126     $depth = 0; # originale Tiefe
127     $sounding = 0; # normierte Tiefe
128     $LONdegHIPS = 0; # dezimale LON der Tiefenmessung
129     $LATdegHIPS = 0; # dezimale LAT der Tiefenmessung
130     $c = 0; # Anzahl der verarbeiteten Datenzeilen
131     $eofDAT1 = 0; # EOF-Status der C-Datei
132     $eofDAT2 = 0; # EOF-Status der HIPS-Datei
133     $fnameLOG = "depth2sound.LOG" ; # Name der LOG-Datei
134
135 }
136 #=====
137 #=====
138 sub help { print "
139     Dieses Programm erstellt aus dem HIPS ASCII-Datenausgang
140     soundings (auf 1500 m/s normierte Tiefen), die im Format
```

```
141         longitude - latitude - sounding in eine neue Datei
142         geschrieben werden.
143     f: Name der HIPS ASCII-Ausgabedatei
144     c: [HYDI] oder [SVP] zur Wahl der Art der C-Datei
145     i: Name der C-Datei (Schallgeschwindigkeitsdatei),
146         also entweder HYDI-Datei (Produkt aus dux2hyd) oder
147         SVP-Datei (Produkt aus svp2array.pl), eingeben.
148     -o: Name der Ausgabedatei (Default: *.lls)
149     -d: KEINE normierten Tiefen, sondern die originalen
150         Tiefenwerte werden ausgegeben.
151     -a: Aktiviert Programmoption, die zu einer einzugebenden
152         Entwicklungstiefe die mittlere Schallgeschwindigkeit
153         c-mean aus SVP-Datei (erstellt mit mb_svp2svp) ausgibt.
154     -b: Ausschalten der Sicherheitsabfrage vor Überschreiben
155         einer vorhandenen Datei.
156     -z: Setzt die maximale Zeitdifferenz zweier cmean-Werte,
157         zwischen denen soundings berechnet werden [Sekunden].
158     -h: DIESER Hilfetext wird ausgegeben
159
160         Usage: depth2sound [-fciozabh]\n";
161 exit;
162 }
163 #=====
164 #=====
165 sub prevent_replace {
166     if ($opt_b) {}
167     else
168     {
169         if (-e $fnameLLS)
170         {
171             print "    >> Ausgabedatei $fnameLLS existiert bereits!
172             <<\n";
173             print "        Überschreiben (J/N)? ";
174             chomp ($_ = <STDIN>);
175             while (/^[^jn]/i)
176             {
177                 print 'J oder N, bitte: ';
178                 chomp ($_ = <STDIN>);
179             }
180             if (/n/i)
181             {
182                 print "        Anderen Dateinamen fuer Ausgabedatei eingeben:
183                 ";
184                 chomp ($_ = <STDIN>);
185                 $fnameLLS=$_;
186                 &prevent_replace() if (-e $fnameLLS);
187             }
188         }
189     }
190 }
```

```
188 }
189 #=====
190 #=====
191 sub c_input_check {
192   if ($c_input ne "HYDI" && $c_input ne "SVP")
193     {
194     print "    Schallgeschwindigkeit aus [HYDI] oder [SVP]: ";
195     chomp($c_input = <STDIN>);
196     &c_input_check();
197     }
198 }
199 #=====HYDI=
200 #=====
201 sub inputHYDI {
202   $zeileHYDI=<DAT1>;
203   chomp($zeileHYDI);
204
205   @daten = split(' ', $zeileHYDI);
206
207   # === Kontrolle des HYDI Datenformates ===
208   if ( $#daten != 7 && $daten[4] <= 1600 && $daten[4] >= 1400 )
209     {
210     print "    >> Fehler: C-Datei ohne gültiges HYDI-Format!\n";
211     exit;
212     }
213
214   $dateHYDI=@daten[0];
215   $timeHYDI=@daten[1];
216   $cmean=@daten[4];
217
218   &time_calcHYDI();
219
220   if ( $zeitC < 200000000000 || $zeitC > 201000000000 )
221     {
222     print "    >> Berechnung der Zeit <zeitC> unplausibel!\n";
223     print "@daten[0] @daten[1]\n";
224     print $zeileHYDI;
225     print "zeitC: $zeitC\n";
226     exit;
227     }
228 }
229 #=====
230 #=====
231 sub time_calcHYDI {
232
233   $dd=substr($dateHYDI, 0,2);
234   $mm=substr($dateHYDI, 3,2);
235   $yy=substr($dateHYDI, 6,2);
236
```

```

237 $i = 0;
238 $ii= ($mm-1-1);
239 $day_tmp=0;
240 @monatstage = (31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31);
241 if ($yy == 0 || $yy == 4 || $yy == 8)
242   { @monatstage = (31, 29, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30,
31);}
243 while ($i <= $ii)
244   { $day_tmp += $monatstage[$i++]; }
245
246 $dayHYDI=$day_tmp+$dd-1;
247 $yearHYDI=$yy+2000;
248
249 $stu=substr($timeHYDI, 0,2);
250 $min=substr($timeHYDI, 3,2);
251 $sec=substr($timeHYDI, 6,2);
252
253 $zeitC=((($stu*60*60)+($min*60)+$sec) + ($dayHYDI*24*60*60) +
($yearHYDI*100000000));
254 }
255 #===== HIPS =
256 #=====
257 sub inputHIPS {
258
259   $eofDAT2++;
260   if ($eofDAT2 == 0)
261     {
262       print "      >> Ende der HIPS-Datei erreicht,\n";
263       print "      $c Datenzeilen prozessiert <<\n";
264       last MAIN;
265     }
266
267   $zeileHIPS=<DAT2>;
268   chomp($zeileHIPS);
269
270   @daten = split(' ', $zeileHIPS);
271   $latHIPS=@daten[3];
272   $lonHIPS=@daten[4];
273   $depth=@daten[5];
274   $timeHIPS=@daten[9];
275   $dayHIPS=@daten[8];
276   $yearHIPS=@daten[7];
277
278   $LATdeg=substr($latHIPS, 0,3);
279   $LATmin=substr($latHIPS, 4,2);
280   $LATsec=substr($latHIPS, 7,6);
281   $LATH=substr($latHIPS, 13,1);
282
283   if ($LATH eq 'N')

```

```

284     { $LATH = 1;}
285     elsif ($LATH eq 'S')
286         { $LATH = -1;}
287         else { $LATH = 0; }
288
289     $LATdegHIPS=($LATdeg+($LATmin/60)+($LATsec/60/60))*$LATH;
290
291     $LONdeg=substr($lonHIPS, 0,3);
292     $LONmin=substr($lonHIPS, 4,2);
293     $LONsec=substr($lonHIPS, 7,6);
294     $LONh=substr($lonHIPS, 13,1);
295
296     if ($LONh eq 'E')
297         { $LONh = 1;}
298         elsif ($LONh eq 'W')
299             { $LONh = -1;}
300             else { $LONh = 0; }
301
302     $LONdegHIPS=($LONdeg+($LONmin/60)+($LONsec/60/60))*$LONh;
303
304     &time_calcHIPS();
305
306     if ( $zeitHIPS < 200000000000 || $zeitHIPS > 201000000000 )
307     {
308         print "          >> Berechnung der Zeit <zeitHIPS> unplausibel!\n";
309         exit;
310     }
311 }
312 #=====
313 #=====
314 sub time_calcHIPS {
315
316     $dayHIPS=$dayHIPS-1;
317     $stu=substr($timeHIPS, 0,2);
318     $min=substr($timeHIPS, 3,2);
319     $sec=substr($timeHIPS, 6,2);
320
321     $zeitHIPS=((($stu*60*60)+($min*60)+$sec) + ($dayHIPS*24*60*60) +
322             ($yearHIPS*100000000));
323 }
324 #===== SVP =
325 #=====
326 sub inputSVP {
327
328     $zeileSVP=<DAT1>;
329     chomp($zeileSVP);
330
331     @daten = split(' ', $zeileSVP);
332     $zeitC=@daten[0];

```

```
332 $tiefe_max=@daten[1];
333 $tiefe=$tiefe_max;
334 $i=$#daten;
335
336 # === Einlesen der interpolierten svv in array $tiefe_svv
337 #   (beginnend mit groesster Tiefe) ===
338
339 while ($i >= 2)
340   {
341     $tiefe_svv[$tiefe]=$daten[$i];
342     $i--,
343     $tiefe--;
344   }
345
346 $i=0;
347 $sum_arth=0;
348 $sum_harm=0;
349
350 # === Berechnen der Summe der svv bis zum aktuellen Tiefenwert ===
351 while ($depth >= $i)
352   {
353     $sum_arth += $tiefe_svv[$i];
354     if ($tiefe_svv[$i] != 0)
355       { $sum_harm += (1/$tiefe_svv[$i]);}
356     $i++;
357   }
358
359 # === Reduzierung um 1 wegen Zeit & Tiefe_Max zu Beginn des
360 #   array's @daten ===
361 $offset=($#tiefe_svv)-($#daten-1);
362
363 # === Kontrolle des SVP-Datenformates ===
364 if ( $#daten != ($daten[1]-$offset+1))
365   {
366     print "    >> Fehler: C-Datei ohne gültiges SVP-Format!\n";
367     exit;
368   }
369
370 # === Hier Entscheidungsmöglichkeit, ob Arithmetisches oder
371 #   Harmonisches Mittel berechnet wird ===
372 # === Reduzierung um 1 wegen der letzten Aufdatierung von $i
373 #   Reduzierung um -$offset wegen Datenluecke von Tiefe 0
374 #   bis Tiefe X ===
375 $cmean_arth = $sum_arth/($i-1-$offset);
376 $cmean_harm = ($i-1-$offset)/$sum_harm;
377 $cmean = $cmean_arth;
378 }
379 #===== cmean_only =
380 #=====
```



```

381 sub cmean_only {
382
383   if ($opt_i)
384     { $fnameC = $opt_i; }
385   else
386     { print '          Name der SVP-Datei eingeben: ';
387       chomp($fnameC = <STDIN>); }
388
389   print '      Entwicklungstiefe zur Berechnung von c-mean eingeben:
390   ';
391   chomp($depth = <STDIN>);
392
393   open (DAT1, "<$fnameC"||die "\n      Error: can't read input file:
394   $!\n");
395
396   &inputSVP();
397   print "Cmean-arithm. bei Tiefe $depth m: $cmean_arth m/s\n";
398   print "Cmean-harmon. bei Tiefe $depth m: $cmean_harm m/s\n";
399
400   close (DAT1);
401   exit;
402 }
403 #===== depths =
404 #=====
405 sub depths {
406
407   open (DAT2, "<$fnameHIPS"||die "\n      Error: can't read input file:
408   $!\n");
409   open (DAT3, ">$fnameLLS");
410
411   $c=0;
412   while ()
413     {
414       &filecheck();
415       $eofDAT2++;
416       if ($eofDAT2 == 0)
417         {
418           print "      >> Ende der HIPS-Datei erreicht, $c Datenzeilen\n";
419           print "      prozessiert <<\n";
420           last;
421         }
422       # === neue Datenzeile aus HIPS ascii Datensatz ===
423       &inputHIPS();
424       $c++;
425
426       printf DAT3 ("%14.9f", $LONdegHIPS);
427       printf DAT3 ("%14.9f", $LATdegHIPS);
428       printf DAT3 ("%9.1f", $depth);

```

```
427     print DAT3 "\n";
428   }
429
430   close (DAT2);
431   close (DAT3);
432   exit;
433 }
434 #=====
435 #=====
436 sub swap_varsC {
437
438   $zeitC1 = $zeitC2;
439   $cmean1 = $cmean2;
440 }
441 #=====
442 #=====
443 sub filecheck {
444
445   if (eof DAT1 == 1)
446     { $eofDAT1 = -1; }
447   if (eof DAT2 == 1)
448     { $eofDAT2 = -1; }
449 }
450 #=====
451 #=====
452 sub inputC1 {
453
454   $eofDAT1++;
455   if ($eofDAT1 == 0)
456     {
457     print "    >> Ende der C-Datei erreicht,\n";
458     print "    $c Datenzeilen prozessiert <<\n";
459     last MAIN;
460     }
461
462   if ($c_input eq "HYDI")
463     { &inputHYDI(); }
464   if ($c_input eq "SVP")
465     { &inputSVP(); }
466
467   $cmean1 = $cmean;
468   $zeitC1 = $zeitC;
469 }
470 #=====
471 #=====
472 sub inputC2 {
473
474   $eofDAT1++;
475   if ($eofDAT1 == 0)
```

```
476 {
477 print "      >> Ende der C-Datei erreicht,\n";
478 print "      $c Datenzeilen prozessiert <<\n";
479 last MAIN;
480 }
481
482 if ($c_input eq "HYDI")
483   { &inputHYDI(); }
484 if ($c_input eq "SVP")
485   { &inputSVP(); }
486
487 $cmean2 = $cmean;
488 $zeitC2 = $zeitC;
489 }
490 #=====
491 #=====
492 sub make_LOG {
493
494 $notice = "      >> Fehler: maximale Zeitdifferenz zweier c-mean
Werte überschritten!\n";
495 $notice_date = "      $dateHYDI $timeHYDI\n";
496
497 if ($notice_date ne $notice_date_old)
498   { print DAT4 $notice, $notice_date; }
499
500 $notice_date_old = $notice_date;
501
502 }
```

E Dokumentation des Programms

mb_svp2svp.pl

E.1 Programmbeschreibung

Das Programm *mb_svp2svp.pl* interpoliert ein Schallgeschwindigkeitsprofil mit einem Stützpunktabstand von einem Meter und schreibt es zusammen mit der Zeit und der größten Tiefe des Profils in eine Zeile der Ausgabedatei. Die Ausgangswerte der Interpolation entstammen dem Schallgeschwindigkeitsprofil einer SVP-Datei, die von der Funktion *mbsvplist* des Programms MB-System aus dem Messdatensatz des Seabeam-Echolotes extrahiert worden ist.

Zu Beginn des Programms wird der Name der SVP-Datei in einem Dialog eingegeben (Zeile 10), der wahlweise auch mit der Option *-f* beim Aufruf des Programms angegeben werden kann. Der Name der Ausgabedatei kann mit der Option *-o* beim Programmaufruf gewählt werden. Andernfalls setzt sich der Name der Ausgabedatei zusammen aus dem Namen der Eingangsdatei und dem Suffix *svp.out* (Zeile 21). Nach der Namensvergabe erfolgt der Aufruf der Subroutine *initvars* (Zeile 25), welche die Variablen initialisiert. Anschließend werden die Eingabe- und Ausgabedateien geöffnet. Das Einlesen der SVP-Datei, die Interpolation der Stützpunkte und die Ausgabe des interpolierten Schallgeschwindigkeitsprofils wird in den folgenden Subroutinen *inputSVP*, *interpol* und *ausgabe* gelöst.

Die Berechnung der Zeitvariablen *\$zeitSVP* im einheitlichen Zeitformat (vgl. Anhang D.1) aus der Zeitangabe in der SVP-Datei (zerlegt in Tag, Monat, Jahr, Stunde, Minute und Sekunde) erfolgt in der Subroutine *zeitberechnungSVP* (Zeile 91), die aus der Subroutine *inputSVP* heraus gestartet wird (Zeile 68). Anschließend wird die Anzahl der Stützwerte *\$quant_svv* der SVP-Datei entnommen, sowie die Tiefen *\$depth* und dazugehörigen Schalllaufzeiten *\$svv*. Nachdem die Schallgeschwindigkeit *\$svv_int* in der

Berechnungstiefe *\$depth_int* interpoliert worden ist (Zeile 143), wird sie in die Feldvariable *\$svv_depth* an die Position geschrieben, die der Berechnungstiefe entspricht (Zeile 147). Über die Position der Schallgeschwindigkeit in der Feldvariable erfolgt später im Programm *depth2sound* wieder die Zuordnung zur Tiefe. In die Zeile der Ausgabe-datei wird zuerst die Zeitvariable *\$zeitSVP* geschrieben (Zeile 155). Darauf folgt die Anzahl der Felder der Feldvariablen *\$svv_depth*. Diese entspricht der maximalen Tiefe des Schallgeschwindigkeitsprofils. Daraufhin wird, begonnen mit dem Feld Nummer Null, die Schallgeschwindigkeit jedes Feldes der Variablen *\$svv_depth* in die Zeile der Ausgabedatei geschrieben (Zeile 163). Ist dieser Vorgang beendet, wird die Eingabe- und die Ausgabedatei wieder geschlossen (Zeile 34).

E.2 Quelltext

```
1 #!/usr/local/bin/perl
2 #
3 #
4 use vars qw($opt_f $opt_o $opt_h);
5 use Getopt::Std;
6
7 getopts('f:o:h');
8 &help() if ($opt_h);
9
10 if ($opt_f)
11 {
12     $fnameSVPin = $opt_f;
13     $fnameSVPout = $opt_f;
14 }
15 else {
16     print '    Name der SVP-Datei (aus mbsvplist) eingeben: ';
17     chomp($fnameSVPin = <STDIN>);
18     $fnameSVPout = $fnameSVPin;
19 }
20
21 if ($opt_o)
22 { $fnameSVPout = $opt_o; }
23 else { substr($fnameSVPout, -3, 3) = "svp.out"; }
24
25 &initvars();
26
27 open (DAT1, "<$fnameSVPin")||die "\n Error: can't read input file:
    $!\n";
28 open (DAT2, ">>$fnameSVPout");
29
30 &inputSVP();
```

```
31 &interpol();
32 &ausgabe();
33
34 close (DAT1);
35 close (DAT2);
36
37 #=====
38 #=====
39 sub initvars {
40     @depth = ();      # Tiefe aus SVP-Datei
41     @depth_int = ();  # interpolierte Tiefe
42     @svv = ();       # c aus SVP-Datei
43     @svv_int = ();   # c interpoliert
44     @svv_depth = (); # c interpoliert in entspr. Tiefe
45     $zeitSVP = 0;    # Zeit im einheitlichen Format
46     $quant_svv = 0;  # Anzahl der Profilmessungen in SVP-Datei
47 }
48 #=====
49 #=====
50 sub help { print "
51     Dieses Programm interpoliert aus einem CTD-Profil eine
52     Schallgeschwindigkeit fuer jeden Tiefenmeter und legt
53     diese in einer neuen Datei ab, die dann vom Programm
54     depth2sound.pl gelesen werden kann und zur Berechnung
55     von normierten Tiefen genutzt wird.
56     Die Ausgabe erfolgt als Anhang an den schon vorhandenen
57     Dateiinhalt.
58     -f: Name der SVP-Eingangsdatei (erstellt durch MB-System
59     Funktion mbsvplist -O
60     -o: Name der Ausgabedatei (Default: *.svp.out)
61     -h: DIESER Hilfetext wird ausgegeben
62
63     Usage: mb_svp2svp [-foh]\n";
64     exit;
65 }
66 #=====
67 #=====
68 sub inputSVP {
69
70     $j=0;
71
72     while (<DAT1>)
73     {
74         chomp($_);
75         @daten = split(' ', $_);
76
77         if ($daten[1] eq "Start" && $daten[2] eq "Time:")
78             { &zeitberechnungSVP; }
79         if ($daten[1] eq "Number" && $daten[3] eq "SVP")
```

```
80     { $quant_svv=substr($daten[5], 0,2); }
81   if ($daten[0] ne "##")
82     {
83       $depth[$j]=$daten[0];
84       $svv[$j]=$daten[1];
85       $j++;
86     }
87   }
88 }
89 #=====
90 #=====
91 sub zeitberechnungSVP {
92
93   $dd=substr($daten[3], 8,2);
94   $mm=substr($daten[3], 5,2);
95   $yy=substr($daten[3], 0,4);
96
97   $stu=substr($daten[4], 0,2);
98   $min=substr($daten[4], 3,2);
99   $sec=substr($daten[4], 6,9);
100
101   $i = 0;
102   $ii= ($mm-1-1);
103   # === -1 um auf vollen Monat zu kommen,
104   # -1 da array-Position ab 0 zaehlt ===
105   @monatstage = (31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31);
106   if ($yy == 2000 || $yy == 2004 || $yy == 2008)
107     {@monatstage = (31, 29, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31);}
108   while ($i <= $ii)
109     { $day_tmp += $monatstage[$i++]; }
110
111   $day=$day_tmp+$dd-1;
112   $zeitSVP=((($stu*60*60)+($min*60)+$sec) + ($day*24*60*60) +
113     ($yy*100000000));
114 }
115 #=====
116 sub interpol {
117
118   $depth_int=0; $i=0;
119
120   while ($depth_int <= $depth[$#depth])
121     {
122       if ($depth_int < $depth[$i])
123         {$depth_int++; next;}
124       # === um Tiefen von 0 bis zur ersten Messung zu überspringen ===
125
126       if ($depth_int == $depth[$i])
127         {
```

```
128     $svv_depth[$depth_int] = $svv[$i];
129     $depth_int++;
130     next;
131     }
132     # === wenn svv an aktueller Tiefenposition gemessen worden
133     # ist, wird Wert direkt uebernommen ===
134
135     # === versetzt das Interpolationsfenster: ===
136     if ($depth_int >= $depth[$i+1])
137     { $i++; next; }
138
139     # === $svv_int wird linear interpoliert: ===
140     $diff_depth = $depth[$i+1] - $depth[$i];
141     $diff_depth_int_depth = $depth_int - $depth[$i];
142     $diff_svv = $svv[$i+1] - $svv[$i];
143     $svv_int = ($diff_svv / ($diff_depth / $diff_depth_int_depth))
144     + $svv[$i];
145
146     # === array mit Tiefen & Schallgeschwindigkeit
147     # wird geschrieben: ===
148     $svv_depth[$depth_int] = $svv_int;
149     $depth_int++;
150     }
151 #=====
152 #=====
153 sub ausgabe {
154
155     print DAT2 $zeitSVP;
156     print DAT2 " ";
157     print DAT2 $#svv_depth;
158
159     $i=0;
160
161     while ($i <= $#svv_depth)
162     {
163         print DAT2 $svv_depth[$i++];
164         print DAT2 " ";
165     }
166     print DAT2 "\n";
167
168 }
```


F Quelltext der AML-Scripte zur Kartenerstellung in ArcInfo

F.1 AML-Quelltext zur Karte 9° W – 2° W

```
1 /* AML-Script "Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge" Sheet 1
2
3 &setvar .sheet = 1
4 &setvar .mapprjin = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_odd.prj
5 &setvar .mapprjout = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_-5.50.prj
6 &setvar .mapprjgeo = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo.prj
7 &setvar .mapprjgeodm = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo_dm.prj
8 &setvar .mapprjgeods = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo_ds.prj
9 &setvar .mapextll = -9.00 82.583333 -02.00 83.416666
10 &setvar .mapextlldm = -540.0 4955.0 -120.0 5005.0
11 &setvar .mapextlldmr = -540.00001 4954.99999 -119.99999 5005.00001
12 &setvar .mapextxy = -129292.3332 -819651.8066 -25607.4820 -736249.1027
13
14 weeddraw off /* keine Vereinfachung der arcs und polys
15 clipmapextent off /* Kartengrenze ungleich Zeichengrenze
16
17 pageunits cm
18 pagesize 118.9 84.1
19
20 /* *****
21 /* Hauptkarte
22 /* *****
23
24 mapprojection %.mapprjin% %.mapprjout%
25 mapextent %.mapextxy%
26 maplimits 35 1 109 68
27 mapunits meters
28 mapscale 150000
29
30 mapposition LL 33.00 4.00 /* neue Rahmenbreite
```

```
31
32 /* -----
33 /* Linien- und Textsymbole setzen
34 /* -----
35
36 lineset color.lin; linesymbol 1; linecolor blue
37 textset font.txt; textsymbol 18; textstyle typeset
38 textcolor blue; textsize 0.2
39
40 /* -----
41 /* Tiefenstufenpolygone, Isolinien und Beschriftung
42 /* -----
43
44 &run plot-isolines.aml
45
46 /* -----
47 /* Kartenrahmen
48 /* -----
49
50 linesymbol 1; linecolor black; linesize 0.02
51 neatline %.mapextlldmr% %.mapprjgeodm% clear maplimits
52
53 /* Gridlininen
54 linecolor black; linesymbol 1; linesize 0.02
55 neatlinegrid 120 10 %.mapprjgeodm%
56
57 /* Beschriftungsmarken
58 neatlinehatch 60 5 0.2 0.1 %.mapprjgeodm% /* beschriftet groß N/S
59 neatlinehatch 10 5 0.12 0.07 %.mapprjgeodm% /* klein N/S
60 neatlinehatch 2 5 0.06 0.1 %.mapprjgeodm% /* unbeschriftet seiten
61
62 neatlinehatch 60 5 0.22 0.13 %.mapprjgeodm% /* beschriftet groß seiten
63 neatlinehatch 60 1 0.15 0.08 %.mapprjgeodm% /* klein seiten
64 neatlinehatch 3600 20 0.07 0.12 %.mapprjgeods% /* unbeschriftet seiten
65
66 /* neatlinelabels bottom
67 textcolor 1; textjustification UC; textsize 0.4; textoffset 0.1 -0.3
68 neatlinelabels 1 bottom all %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
        '%2!pat1727; W'
69 textsize 0.3; textoffset -0.2 -0.2
70 neatlinelabels 0.166666666666666666 bottom 3 5 9 11 15 17 21 23 27 29 33 35
        39 41 45 47 %.mapprjgeo% DMS '%2!pat1727; '
71
72 /* neatlinelabels top
73 textjustification LC; textsize 0.4; textoffset 0.1 0.4
74 neatlinelabels 1 top all %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857; '%2!pat1727;
        W'
75 textsize 0.3; textoffset -0.15 0.3
76 neatlinelabels 0.166666666666666666 top 3 5 9 11 15 17 21 23 27 29 33 35 39
```

```
41 45 47 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727;'  
77  
78 /* neatlinelabels right  
79 textjustification CL; textsize 0.4; textoffset 0.4 0.05  
80 neatlinelabels 0.083333333333 right all %.mapprjgeo% DMS '%1%!pat1857;  
    '%2%!pat1727; N'  
81 textsize 0.3; textoffset -0.1 0.05  
82 neatlinelabels 0.016666666666 right 2 3 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 17 18  
    19 20 22 23 24 25 27 28 29 30 32 33 34 35 37 38 39 40 42 43 44 45 47  
    48 49 50 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727;'  
83  
84 /* neatlinelabels left  
85 textjustification CR; textsize 0.4; textoffset -0.4 0.05  
86 neatlinelabels 0.083333333333 left all %.mapprjgeo% DMS '%1%!pat1857;  
    '%2%!pat1727; N'  
87 textsize 0.3; textoffset -0.3 0.05  
88 neatlinelabels 0.016666666666 left 2 3 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 17 18  
    19 20 22 23 24 25 27 28 29 30 32 33 34 35 37 38 39 40 42 43 44 45 47  
    48 49 50 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727;'  
89  
90 textoffset 0 0  
91  
92 neatline -541.0 4954.9 -119.0 5005.1 %.mapprjgeodm%  
93  
94 /* *****  
95 /* SHEET INDEX KARTE  
96 /* *****  
97  
98 &setvar .x = 14.4  
99 &setvar .y = 1.5  
100  
101 &run plot-index.aml  
102  
103 /* *****  
104 /* TRACKLINIEN KARTE  
105 /* *****  
106  
107 &setvar .x = 14.4  
108 &setvar .y = 19.0  
109  
110 &run plot-track.aml  
111  
112 /* *****  
113 /* AWI Logo  
114 /* *****  
115  
116 EPS /bats1/bathy07/sgauger/aml/awilogorot.eps 7.1 78.1  
117  
118 &setvar .x = 14.4
```

```
119 &setvar .y = 64.0
120
121 textsize 0.8; textcolor rgb 102 204 230
122   move [calc %.x% + 0] [calc %.y% + 2]
123   text 'Alfred Wegener Institute' LL
124   move [calc %.x% + 0] [calc %.y% + 1]
125   text 'for Polar and Marine Research' LL
126
127 /* *****
128 /* Legende
129 /* *****
130
131 &setvar .x = 12.4
132 &setvar .y = 48.5
133
134 &run plot-legende.aml
135
136 /* *****
137 /* Data Sources and References
138 /* *****
139
140 &setvar .x = 14.4
141 &setvar .y = 34.0
142
143 &run plot-source.aml
144
145 /* *****
146 /* Kartenbeschriftung
147 /* *****
148
149 textcolor black; textsize 1.0
150
151   move 35.4 68.5; text 'Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge
      1 : 150 000' LL
152   move 108.5 68.5; text "900' W - 200' W" LR
153
154 textsize 0.5
155   move 71.95 0.5; text 'NOT TO BE USED FOR NAVIGATION' LC
156
157 /* *****
158 /* Rechteckrahmen
159 /* *****
160
161 linesymbol 1; linesize 0.02; linecolor black
162   box 12.9 0 110 72 /* Kartenrahmen
163
164 linesize 0.02; lineoffset 0.00
165   box 35.4 1.5 108.5 67.5 /* Rahmen Hauptkarte
166 linesize 0.1; lineoffset -0.15
```

```
167 box 35.4 1.5 108.5 67.5 /* Rahmen Hauptkarte
168 linesize 0.02; lineoffset -0.3
169 box 35.4 1.5 108.5 67.5 /* Rahmen Hauptkarte
170
171 lineoffset 0
172
173 box 14.4 1.5 34.4 18.0 /* Rahmen untere Nebenkarte
174 box 14.4 19.0 34.4 33.5 /* Rahmen obere Nebenkarte
175 box 14.4 34.5 34.4 48.5 /* Rahmen data source
176 box 14.4 49.5 34.4 64.0 /* Rahmen legende
177
178 &delvar .mapprjin
179 &delvar .mapprjout
180 &delvar .mapprjgeo
181 &delvar .mapextll
182 &delvar .mapextxy
183 &delvar .x
184 &delvar .y
185 &delvar .sheet
186
187 &return
```

F.2 AML-Quelltext zur Karte 7° W – 2° E

```
1 /* AML-Script "Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge" Sheet 2
2
3 &setvar .sheet = 2
4 &setvar .mapprjin = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_odd.prj
5 &setvar .mapprjout = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_-2.50.prj
6 &setvar .mapprjindex = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_index.prj
7 &setvar .mapprjgeo = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo.prj
8 &setvar .mapprjgeodm = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo_dm.prj
9 &setvar .mapprjgeods = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo_ds.prj
10 &setvar .mapextindx = -304925.2573 -841428.1466 223290.0841 -388626.8228
11 &setvar .mapextindll = -20.00 82.00 30.00 86.00
12 &setvar .mapextll = -07.00 83.416666 02.00 84.166666
13 &setvar .mapextlldm = -420.0 5005.0 120.0 5050.0
14 &setvar .mapextlldmr = -420.00001 5004.99999 120.00001 5050.00001
15 &setvar .mapextxy = -89423.1804 -731246.8661 22696.0162 -652540.5974
16
17 weeddraw off /* keine Vereinfachung der arcs und polys
18 clipmapextent off /* Kartengrenze ungleich Zeichengrenze
19
20 pageunits cm
21 pagesize 118.9 84.1
22
23 /* *****
24 /* Hauptkarte
25 /* *****
26
27 mapprojection %.mapprjin% %.mapprjout%
28 mapextent %.mapextxy%
29 maplimits 25 1 110 65
30 mapunits meters
31 mapscale 150000
32
33 mapposition LL 26.5 6.50
34
35 /* -----
36 /* Linien- und Textsymbole setzen
37 /* -----
38
39 lineset color.lin; linesymbol 1; linecolor blue
40 textset font.txt; textsymbol 18; textstyle typeset
41 textcolor blue; textsize 0.2
42
43 /* -----
44 /* Tiefenstufenpolygone, Isolinien und Beschriftung
45 /* -----
46
```

```
47 &run plot-isolines.aml
48
49 /* -----
50 /*  Kartenrahmen
51 /* -----
52
53 linesymbol 1; linecolor black; linesize 0.02
54  neatline %.mapextlldmr% %.mapprjgeodm% clear maplimits
55
56 /* Gridlininen
57 linecolor black; linesymbol 1; linesize 0.02
58  neatlinegrid 120 10 %.mapprjgeodm%
59
60 /* Beschriftungsmarken
61  neatlinehatch 60 5 0.2 0.1 %.mapprjgeodm% /* beschriftet groß N/S
62  neatlinehatch 10 5 0.12 0.07 %.mapprjgeodm% /*          klein N/S
63  neatlinehatch 2 5 0.06 0.1 %.mapprjgeodm% /* unbeschriftet seiten
64
65  neatlinehatch 60 5 0.22 0.13 %.mapprjgeodm% /* beschriftet groß seiten
66  neatlinehatch 60 1 0.15 0.08 %.mapprjgeodm% /*          klein seiten
67  neatlinehatch 3600 20 0.07 0.12 %.mapprjgeods% /* unbeschriftet seiten
68
69 /* neatlinelabels bottom west
70 textcolor 1; textjustification UC
71 textsize 0.4; textoffset 0.1 -0.3
72  neatlinelabels 1 bottom 1 2 3 4 5 6 7 %.mapprjgeo% DMS
    '%1!pat1857; %2!pat1727; W'
73 textsize 0.3; textoffset -0.2 -0.2
74  neatlinelabels 0.1666666 bottom 3 5 9 11 15 17 21 23 27 29 33 35 39
    41 45 47 51 53 %.mapprjgeo% DMS '%2!pat1727;'
75
76 /* neatlinelabels bottom east
77 textsize 0.4; textoffset 0 -0.3
78  neatlinelabels 1 bottom 8 9 10 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; E'
79
80 /* neatlinelabels top west
81 textjustification LC; textsize 0.4; textoffset 0.1 0.4
82  neatlinelabels 1 top 1 2 3 4 5 6 7 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; W'
83 textsize 0.3; textoffset -0.15 0.3
84  neatlinelabels 0.1666666 top 3 5 9 11 15 17 21 23 27 29 33 35 39 41
    45 47 51 53 %.mapprjgeo% DMS '%2!pat1727;'
85
86 /* neatlinelabels top east
87 textsize 0.4; textoffset 0 0.4
88  neatlinelabels 1 top 8 9 10 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; E'
89
```

```
90 /* neatlinelabels right
91 textjustification CL; textsize 0.4; textoffset 0.4 0.05
92 neatlinelabels 0.0833333333333333 right all %.mapprjgeo% DMS
   '%1%!pat1857; %2%!pat1727; N'
93 textsize 0.3; textoffset -0.1 0.05
94 neatlinelabels 0.0166666666666666 right 2 3 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 17
   18 19 20 22 23 24 25 27 28 29 30 32 33 34 35 37 38 39 40 42 43 44 45
   47 48 49 50 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727; '
95
96 /* neatlinelabels left
97 textjustification CR; textsize 0.4; textoffset -0.4 0.05
98 neatlinelabels 0.0833333333333333 left all %.mapprjgeo% DMS
   '%1%!pat1857; %2%!pat1727; N'
99 textsize 0.3; textoffset -0.3 0.05
100 neatlinelabels 0.0166666666666666 left 2 3 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 17 18
   19 20 22 23 24 25 27 28 29 30 32 33 34 35 37 38 39 40 42 43 44 45 47
   48 49 50 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727; '
101
102 textoffset 0 0
103
104 neatline -421.15 5004.89 121.15 5050.11 %.mapprjgeodm%
105
106 /* *****
107 /* SHEET INDEX KARTE
108 /* *****
109
110 &setvar .x = 4.7
111 &setvar .y = 1.5
112
113 &run plot-index.aml
114
115 /* *****
116 /* TRACKLINIEN KARTE
117 /* *****
118
119 &setvar .x = 4.7
120 &setvar .y = 19
121
122 &run plot-track.aml
123
124 /* *****
125 /* AWI Logo
126 /* *****
127
128 EPS /bats1/bathy07/sgauger/aml/awilogorot.eps -2.6 78.1
129
130 &setvar .x = 4.7
131 &setvar .y = 64.0
132
```



```
133 textsize 0.8; textcolor rgb 102 204 230
134   move [calc %.x% + 0] [calc %.y% + 2]
135   text 'Alfred Wegener Institute' LL
136   move [calc %.x% + 0] [calc %.y% + 1]
137   text 'for Polar and Marine Research' LL
138
139 /* *****
140 /* Legende
141 /* *****
142
143 &setvar .x = 2.7
144 &setvar .y = 48.5
145
146 &run plot-legende.aml
147
148 /* *****
149 /* Data Sources and References
150 /* *****
151
152 &setvar .x = 4.7
153 &setvar .y = 34.0
154
155 &run plot-source.aml
156
157 /* *****
158 /* Kartenbeschriftung
159 /* *****
160
161 textcolor black; textsize 1.0
162   move 25.7 67.0; text 'Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge
      1 : 150 000' LL
163   move 108.5 67.0; text "700' W - 200' E" LR
164 textsize 0.5
165   move 67.1 0.5; text 'NOT TO BE USED FOR NAVIGATION' LC
166
167 /* *****
168 /* Rechteckrahmen
169 /* *****
170
171 linesymbol 1; linesize 0.02; linecolor black
172   box 3.2 0 110 72 /* Kartenrahmen
173
174 linesize 0.02; lineoffset 0.00
175   box 25.7 1.5 108.5 66.0 /* Rahmen Hauptkarte
176 linesize 0.1; lineoffset -0.15
177   box 25.7 1.5 108.5 66.0 /* Rahmen Hauptkarte
178 linesize 0.02; lineoffset -0.3
179   box 25.7 1.5 108.5 66.0 /* Rahmen Hauptkarte
180
```

```
181
182 lineoffset 0
183
184   box 4.7 01.5 24.7 18.0 /* Rahmen untere Nebenkarte
185   box 4.7 19.0 24.7 33.5 /* Rahmen obere Nebenkarte
186   box 4.7 34.5 24.7 48.5 /* Rahmen data source
187   box 4.7 49.5 24.7 64.0 /* Rahmen legende
188
189 &delvar .mapprjin
190 &delvar .mapprjout
191 &delvar .mapprjindex
192 &delvar .mapprjgeo
193 &delvar .mapextindx
194 &delvar .mapextindll
195 &delvar .mapextll
196 &delvar .mapextxy
197 &delvar .x
198 &delvar .y
199 &delvar .sheet
200
201 &return
```

F.3 AML-Quelltext zur Karte 2° W – 6°30' E

```
1 /* AML-Script "Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge" Sheet 3
2
3 &setvar .sheet = 3
4 &setvar .mapprjin = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_odd.prj
5 &setvar .mapprjout = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_2.25.prj
6 &setvar .mapprjindex = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/lam_index.prj
7 &setvar .mapprjgeo = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo.prj
8 &setvar .mapprjgeodm = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo_dm.prj
9 &setvar .mapprjgeods = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/geo_ds.prj
10 &setvar .mapextindx = -304925.2573 -841428.1466 223290.0841 -388626.8228
11 &setvar .mapextindll = -20.00 82.00 30.00 86.00
12 &setvar .mapextll = -2.00 84.166666 6.50 85.00
13 &setvar .mapextlldm = -120.0 5050.0 390.0 5100.0
14 &setvar .mapextlldmr = -120.00001 5049.99999 390.00001 5100.00001
15 &setvar .mapextxy = -22696.0162 -652540.5974 63127.9413 -556310.6979
16
17 weeddraw off /* keine Vereinfachung der arcs und polys
18 clipmapextent off /* Kartengrenze ungleich Zeichengrenze
19
20 pageunits cm
21 pagesize 118.9 84.1
22
23 /* *****
24 /* Hauptkarte
25 /* *****
26
27 mapprojection %.mapprjin% %.mapprjout%
28 mapextent %.mapextxy%
29 maplimits 38 1 110 68
30 mapunits meters
31 mapscale 150000
32
33 mapposition LL 41.3 2.0
34
35 /* -----
36 /* Linien- und Textsymbole setzen
37 /* -----
38
39 lineset color.lin; linesymbol 1; linecolor blue
40 textset font.txt; textsymbol 18; textstyle typeset
41 textcolor blue; textsize 0.2
42
43 /* -----
44 /* Tiefenstufenpolygone, Isolinien und Beschriftung
45 /* -----
46
```

```
47 &run plot-isolines.aml
48
49 /* -----
50 /*  Kartenrahmen
51 /* -----
52
53 linesymbol 1; linecolor black; linesize 0.02
54  neatline %.mapextlldmr% %.mapprjgeodm% clear maplimits
55
56 /* Gridlininen
57 linecolor black; linesymbol 1; linesize 0.02
58  neatlinegrid 120 10 %.mapprjgeodm%
59
60 /* Beschriftungsmarken
61  neatlinehatch 60 5 0.2 0.1 %.mapprjgeodm% /* beschriftet groß N/S
62  neatlinehatch 10 5 0.12 0.07 %.mapprjgeodm% /*          klein N/S
63  neatlinehatch 2 5 0.06 0.1 %.mapprjgeodm% /* unbeschriftet seiten
64
65  neatlinehatch 60 5 0.22 0.13 %.mapprjgeodm% /* beschriftet groß seiten
66  neatlinehatch 60 1 0.15 0.08 %.mapprjgeodm% /*          klein seiten
67  neatlinehatch 3600 20 0.07 0.12 %.mapprjgeods% /* unbeschriftet seiten
68
69 /* neatlinelabels bottom west
70 textcolor 1; textjustification UC
71 textsize 0.4; textoffset 0.1 -0.3
72  neatlinelabels 1 bottom 1 2 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; W'
73 textsize 0.3; textoffset -0.2 -0.2
74  neatlinelabels 0.1666666 bottom 3 5 9 11 15 17 21 23 27 29 33 35 39
    41 45 47 51  %.mapprjgeo% DMS '%2!pat1727; '
75
76 /* neatlinelabels bottom east
77 textjustification UC; textsize 0.4; textoffset 0 -0.3
78  neatlinelabels 1 bottom 3 4 5 6 7 8 9 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; E'
79
80 /* neatlinelabels top west
81 textjustification LC; textsize 0.4; textoffset 0.1 0.4
82  neatlinelabels 1 top 1 2 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; W'
83 textsize 0.3; textoffset -0.15 0.3
84  neatlinelabels 0.1666666 top 3 5 9 11 15 17 21 23 27 29 33 35 39 41
    45 47 51  %.mapprjgeo% DMS '%2!pat1727; '
85
86 /* neatlinelabels top east
87 textjustification LC; textsize 0.4; textoffset 0 0.4
88  neatlinelabels 1 top 3 4 5 6 7 8 9 %.mapprjgeo% DMS '%1!pat1857;
    %2!pat1727; E'
89
```

```
90 /* neatlinelabels right
91 textjustification CL; textsize 0.4; textoffset 0.4 0.05
92  neatlinelabels 0.0833333333333333 right all %.mapprjgeo% DMS '%1%!pat1857;
    %2%!pat1727; N'
93 textsize 0.3; textoffset -0.1 0.05
94  neatlinelabels 0.0166666666666666 right 2 3 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 17
    18 19 20 22 23 24 25 27 28 29 30 32 33 34 35 37 38 39 40 42 43 44 45
    47 48 49 50 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727;,'
95
96 /* neatlinelabels left
97 textjustification CR; textsize 0.4; textoffset -0.4 0.05
98  neatlinelabels 0.0833333333333333 left all %.mapprjgeo% DMS '%1%!pat1857;
    %2%!pat1727; N'
99 textsize 0.3; textoffset -0.3 0.05
100 neatlinelabels 0.0166666666666666 left 2 3 4 5 7 8 9 10 12 13 14 15 17 18
    19 20 22 23 24 25 27 28 29 30 32 33 34 35 37 38 39 40 42 43 44 45 47
    48 49 50 %.mapprjgeo% DMS '%2%!pat1727;,'
101
102 textoffset 0 0
103
104  neatline -121.3 5049.89 391.3 5100.11 %.mapprjgeodm%
105
106 /* *****
107 /* SHEET INDEX KARTE
108 /* *****
109
110 &setvar .x = 17.4
111 &setvar .y = 1.5
112
113 &run plot-index.aml
114
115 /* *****
116 /* TRACKLINIEN KARTE
117 /* *****
118
119 &setvar .x = 17.4
120 &setvar .y = 19
121
122 &run plot-track.aml
123
124 /* *****
125 /* AWI Logo
126 /* *****
127
128  EPS /bats1/bathy07/sgauger/aml/awilogorot.eps 10.1 78.1
129
130 &setvar .x = 17.4
131 &setvar .y = 64.0
132
```

```
133 textsize 0.8; textcolor rgb 102 204 230
134   move [calc %.x% + 0] [calc %.y% + 2]
135   text 'Alfred Wegener Institute' LL
136   move [calc %.x% + 0] [calc %.y% + 1]
137   text 'for Polar and Marine Research' LL
138
139 /* *****
140 /* Legende
141 /* *****
142
143 &setvar .x = 15.4
144 &setvar .y = 48.5
145
146 &run plot-legende.aml
147
148 /* *****
149 /* Data Sources and References
150 /* *****
151
152 &setvar .x = 17.4
153 &setvar .y = 34.0
154
155 &run plot-source.aml
156
157 /* *****
158 /* Kartenbeschriftung
159 /* *****
160
161 textcolor black; textsize 1.0
162
163   move 38.4 68.5; text 'Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge
164     1 : 150 000' LL
164   move 108.5 68.5; text "200' W - 630' E" LR
165 textsize 0.5
166   move 73.45 0.5; text 'NOT TO BE USED FOR NAVIGATION' LC
167
168 /* *****
169 /* Rechteckrahmen
170 /* *****
171
172 linesymbol 1; linesize 0.02; linecolor black
173   box 15.9 0 110 72 /* Kartenrahmen
174
175 linesize 0.02; lineoffset 0.00
176   box 38.4 1.5 108.5 67.5 /* Rahmen Hauptkarte
177 linesize 0.1; lineoffset -0.15
178   box 38.4 1.5 108.5 67.5 /* Rahmen Hauptkarte
179 linesize 0.02; lineoffset -0.3
180   box 38.4 1.5 108.5 67.5 /* Rahmen Hauptkarte
```

```
181
182 lineoffset 0.00
183
184   box 17.4 01.5 37.4 18.0 /* Rahmen untere Nebenkarte
185   box 17.4 19.0 37.4 33.5 /* Rahmen obere Nebenkarte
186   box 17.4 34.5 37.4 48.5 /* Rahmen data source
187   box 17.4 49.5 37.4 64.0 /* Rahmen legende
188
189 &delvar .mapprjin
190 &delvar .mapprjout
191 &delvar .mapprjindex
192 &delvar .mapprjgeo
193 &delvar .mapextindx
194 &delvar .mapextindll
195 &delvar .mapextll
196 &delvar .mapextxy
197 &delvar .x
198 &delvar .y
199 &delvar .sheet
200
201 &return
```

F.4 AML-Quelltext zur Darstellung des Inhaltes der Hauptkarte

```
1 /* AML-SubScript zur Isoliniendarstellung der Hauptkarte
2
3 &setvar contour_cov = CONT_ED
4 &setvar polygon_cov = POLYS
5 &setvar contour_ibcao = ../ibcao/CONT50ERA
6
7 &call polygons /* Tiefenstufenpolygone
8 &call iso-amore /* Isolinien AMORE
9 &call iso-ibcao /* Isolinien IBCAO
10
11 &return
12
13 /* -----
14 /* Tiefenstufenpolygone laden
15 /* -----
16 &routine polygons
17
18 shadetype color
19
20 shadecolor cmyk 15 7 0 0
21   unselect %polygon_cov% polys
22   aselect %polygon_cov% polys t_stufe eq 2
23   polygonshades %polygon_cov% 1000
24   unselect %polygon_cov% polys
25
26 shadecolor cmyk 25 11 0 0
27   aselect %polygon_cov% polys t_stufe eq 3
28   polygonshades %polygon_cov% 1000
29   unselect %polygon_cov% polys
30
31 shadecolor cmyk 35 15 0 0
32   aselect %polygon_cov% polys t_stufe eq 4
33   polygonshades %polygon_cov% 1000
34   unselect %polygon_cov% polys
35
36 shadecolor cmyk 45 19 0 0
37   aselect %polygon_cov% polys t_stufe eq 5
38   polygonshades %polygon_cov% 1000
39   unselect %polygon_cov% polys
40
41 shadecolor cmyk 55 23 0 0
42   aselect %polygon_cov% polys t_stufe eq 6
43   polygonshades %polygon_cov% 1000
44   unselect %polygon_cov% polys
```



```
45
46 &return
47
48 /* -----
49 /*  Isolinien AMORE und Beschriftung
50 /* -----
51
52 &routine iso-amore
53
54 /* isolinien unbeschriftet 0.01 50m ohne laengenbegrenzung -----
55 linesize 0.01
56  unselect %contour_cov% arcs
57  &do int = 0 &to -6000 &by -200
58    aselect %contour_cov% arcs contour eq %int%
59  &end
60  &do int = 0 &to -6000 &by -50
61    aselect %contour_cov% arcs contour eq %int% AND length le 100
62  &end
63  nselect %contour_cov% arcs
64  arcs %contour_cov%
65  unselect %contour_cov% arcs
66
67 /* isolinien unbeschriftet 0.02 200m kuerzer 2000m -----
68 linesize 0.02
69  &do int = 0 &to -6000 &by -200
70    aselect %contour_cov% arcs contour eq %int% AND length le 2000
71    AND length gt 100
72  &end
73  arcs %contour_cov%
74  unselect %contour_cov% arcs
75
76 /* isolinien beschriftet 0.02 200m laenger 2000m -----
77 &do int = 0 &to -6000 &by -200
78   aselect %contour_cov% arcs contour eq %int% AND length gt 2000
79 &end
80 arctext %contour_cov% CONT_ABS # line # blank
81 unselect %contour_cov% arcs
82 &return
83
84 /* -----
85 /*  Isolinien IBCAO und Beschriftung
86 /* -----
87
88 &routine iso-ibcao
89
90 linecolor rgb 175 175 175; textcolor rgb 175 175 175
91
92 /* isolinien unbeschriftet 0.01 50m ohne laengenbegrenzung -----
```

```
93 linesize 0.01
94  unselect %contour_ibcao% arcs
95  &do int = 0 &to -6000 &by -100
96    aselect %contour_ibcao% arcs contour eq %int% AND length gt 100
97  &end
98  &do int = 0 &to -6000 &by -200
99    unselect %contour_ibcao% arcs contour eq %int%
100  &end
101  arcs %contour_ibcao%
102  unselect %contour_ibcao% arcs
103
104 /* isolinien unbeschriftet 0.02 200m kuerzer 2000m -----
105 linesize 0.02
106  &do int = 0 &to -6000 &by -200
107    aselect %contour_ibcao% arcs contour eq %int% AND length le 2000
108      AND length gt 100
109  &end
110  arcs %contour_ibcao%
111  unselect %contour_ibcao% arcs
112 /* isolinien beschriftet 0.02 200m laenger 2000m -----
113  &do int = 0 &to -6000 &by -200
114    aselect %contour_ibcao% arcs contour eq %int% AND length gt 2000
115  &end
116  arctext %contour_ibcao% CONTOUR # line # blank
117  unselect %contour_ibcao% arcs
118
119 &return
```

F.5 AML-Quelltext zur Nebenkarte

Sheet Index of Gakkel-Ridge

```
1 /* AML-SubScript "Sheet Index"
2
3 &setvar mapprjindex = /bats1/bathy09/sgauger/arcinfo/prj/
  lam_index.prj
4 &setvar mapextindx = -304925.2573 -841428.1466 223290.0841
  -388626.8228
5 &setvar mapextindll = -20.00 82.00 30.00 86.00
6
7 mapprojection %mapprjin% %mapprjindex%
8 mapextent %mapextindx%
9 maplimits [calc %.x% + 0.1] [calc %.y% + 1.5] [calc %.x% + 20]
  [calc %.y% + 12]
10 mapunits meters
11 mapscale 5000000
12
13 mapposition LL [calc %.x% + 2.1] [calc %.y% + 2.5]
14
15 /* -----
16 /*  Beschriftung
17 /* -----
18
19 textcolor black; textsize 0.8
20   move [calc %.x% + 10] [calc %.y% + 15]
21   text 'Sheet Index of Gakkel Ridge - Scale 1 : 150 000' LC
22
23 textsize 0.4
24   move [calc %.x% + 9] [calc %.y% + 13]
25   &if %.sheet% = 1 &then text "Sheet 900' W - 200' W" LL
26   &if %.sheet% = 2 &then text "Sheet 700' W - 200' E" LL
27   &if %.sheet% = 3 &then text "Sheet 200' W - 630' E" LL
28
29 textsize 0.3
30   move [calc %.x% + 0.5] [calc %.y% + 0.5]
31   text 'Lambert Conformal Conic Projection' LL
32   move [calc %.x% + 19.5] [calc %.y% + 0.5]
33   text "Scale 1 : 5 000 000 at 86 N and 84 N " LR
34
35 shadetype color; shadecolor cmyk 10 3 0 0
36   patch [calc %.x% + 7.2] [calc %.y% + 12.8] [calc %.x% + 8.2]
  [calc %.y% + 13.6]
37
38 linesize 0.04; linesymbol 1; linecolor red
39   box [calc %.x% + 7.2] [calc %.y% + 12.8] [calc %.x% + 8.2]
  [calc %.y% + 13.6]
```

```
40
41 /* -----
42 /* Polygonshades erzeugen
43 /* -----
44
45 shadetype color; shadecolor cmyk 10 3 0 0
46   polygonshades HGFARBE 1000
47
48 /* -----
49 /* Tracklinien
50 /* -----
51
52 linesize 0.01; linecolor 4
53
54   aselect TL_HS_II arcs
55   arcs TL_HS_II
56   unselect TL_HS_II arcs
57
58 linecolor 2
59   aselect TL_SB_II arcs
60   arcs TL_SB_II
61   unselect TL_SB_II arcs
62
63 /* -----
64 /* Kartenrahmen
65 /* -----
66
67 linecolor 1; linesize 0.01; linesymbol 1
68   neatline %mapextindll% %.mapprjgeo% clear maplimits
69 /* Gridlininen
70   linesymbol 49
71   neatlinegrid 10 1 %.mapprjgeo%
72
73 /* neatlinelabels bottom west
74 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification UC; textoffset 0 -0.2
75   neatlinelabels 10 bottom 1 2 %.mapprjgeo% DD '%1%!pat1857; W';
76
77 /* neatlinelabels bottom east
78 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification UC; textoffset 0 -0.2
79   neatlinelabels 10 bottom 3 4 5 6 %.mapprjgeo% DD '%1%!pat1857; E';
80
81 /* neatlinelabels top west
82 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification LC; textoffset 0 0.2
83   neatlinelabels 10 top 2 %.mapprjgeo% DD '%1%!pat1857; W';
84
85 /* neatlinelabels top east
86 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification LC; textoffset 0 0.2
87   neatlinelabels 10 top 3 4 5 %.mapprjgeo% DD '%1%!pat1857; E';
88
```

```
89 /* neatlinelabels right
90 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification CL; textoffset 0.2 0
91 neatlinelabels 1 right all %.mapprjgeo% DD '%1%!pat1857; N';
92
93 /* neatlinelabels left
94 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification CR; textoffset -0.2 0
95 neatlinelabels 1 left all %.mapprjgeo% DD '%1%!pat1857; N';
96
97 textoffset 0 0
98
99 /* -----
100 /* Kartenboxen
101 /* -----
102
103 linesymbol 1; linesize 0.01
104
105 linecolor black
106 &if %.sheet% <> 1 &then neatline -09.00 82.583333 -02.00 83.416666
    %.mapprjgeo%
107 &if %.sheet% <> 2 &then neatline -07.00 83.416666 02.00 84.166666
    %.mapprjgeo%
108 &if %.sheet% <> 3 &then neatline -02.00 84.166666 06.50 85.00
    %.mapprjgeo%
109
110 linesize 0.02; linecolor red
111 &if %.sheet% = 1 &then neatline -09.00 82.583333 -02.00 83.416666
    %.mapprjgeo%
112 &if %.sheet% = 2 &then neatline -07.00 83.416666 02.00 84.166666
    %.mapprjgeo%
113 &if %.sheet% = 3 &then neatline -02.00 84.166666 06.50 85.00
    %.mapprjgeo%
114
115 &return
```

F.6 AML-Quelltext zur Nebenkarte

Track Lines and Geological Sampling Stations

```
1 /* AML-SubScript "Track Line and Geological Sampling Stations"
2
3 maplimits [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 14]
   [calc %.y% + 12]
4 mapunits meters
5 mapscale 1000000
6
7 /* amore01:
8   &if %.sheet% = 1 &then mapposition LL [calc %.x% + 2.5]
   [calc %.y% + 2]
9 /* amore02:
10  &if %.sheet% = 2 &then mapposition LL [calc %.x% + 1.5]
   [calc %.y% + 2]
11 /* amore03:
12  &if %.sheet% = 3 &then mapposition LL [calc %.x% + 2.5]
   [calc %.y% + 2]
13
14 /* -----
15 /*  Beschriftung
16 /* -----
17
18 textcolor 1; textsize 0.8
19   move [calc %.x% + 10] [calc %.y% + 13]
20   text 'Track Lines and Geological Sampling Stations' LC
21 textsize 0.4
22   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 11.0]
23   text 'RV "Polarstern" ' CL
24   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 10.2]
25   text 'Dredge Station' CL
26   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 9.4]
27   text 'TV-Grab' CL
28   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 8.2]
29   text 'USCGC "Healy" ' CL
30   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 7.4]
31   text 'Dredge Station' CL
32   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 6.6]
33   text 'TV-Grab' CL
34
35 textsize 0.5
36   move [calc %.x% + 14.9] [calc %.y% + 5.4]
37   text 'Depths Contours' CL
38 textsize 0.4
39   move [calc %.x% + 16.0] [calc %.y% + 4.6]
40   text '200 m intervals' CL
```

```
41
42 linecolor blue; linesize 0.02
43   line [calc %.x% + 14.5] [calc %.y% + 11] [calc %.x% + 15.5]
      [calc %.y% + 11]
44 linecolor red
45   line [calc %.x% + 14.5] [calc %.y% + 8.2] [calc %.x% + 15.5]
      [calc %.y% + 8.2]
46 linecolor rgb 150 150 150; linesize 0.01
47   line [calc %.x% + 14.5] [calc %.y% + 4.6] [calc %.x% + 15.5]
      [calc %.y% + 4.6]
48
49 markercolor rgb 051 204 255; markersize 0.3; markerfont 20;
      markerpattern 100
50   marker [calc %.x% + 15.0] [calc %.y% + 10.15]
51
52 markerfont 21; markerpattern 67
53   marker [calc %.x% + 15.0] [calc %.y% + 9.35]
54
55 markercolor rgb 255 142 142
56
57 markerfont 20; markerpattern 100
58   marker [calc %.x% + 15.0] [calc %.y% + 7.35]
59
60 markerfont 21; markerpattern 67
61   marker [calc %.x% + 15.0] [calc %.y% + 6.55]
62
63 textsize 0.3
64   move [calc %.x% + 0.5] [calc %.y% + 0.5]
65   text 'Lambert Conformal Conic Projection' LL
66   move [calc %.x% + 19.5] [calc %.y% + 0.5]
67   text "Scale 1 : 1 000 000 at 86 N and 84 N " LR
68
69 /* -----
70 /* Polygonshades erzeugen
71 /* -----
72
73 shadetype color; shadecolor cmyk 10 3 0 0
74   polygonshades HGFARBE 1000
75
76 /* -----
77 /* Isobathen & Tracklinien
78 /* -----
79
80 mapprojection %.mapprjgeo% %.mapprjout%
81 mapextent %.mapextll%
82
83 /* -----
84 /* Isobathen
85 /* -----
```

```
86
87 linecolor rgb 150 150 150; linesize 0.01
88
89   unselect CONT_ED_GEO arcs
90     &do int = 0 &to -6000 &by -200
91       aselect CONT_ED_GEO arcs contour eq %int% AND length gt 2000
92     &end
93   arcs CONT_ED_GEO
94   unselect CONT_ED_GEO arcs
95
96
97 /* -----
98 /*  Tracklinien
99 /* -----
100
101 linesize 0.02; linecolor blue
102   aselect TL_HS_GEO arcs
103   arcs TL_HS_GEO
104   unselect TL_HS_GEO arcs
105
106 linesize 0.02; linecolor red
107   aselect TL_SB_GEO arcs
108   arcs TL_SB_GEO
109   unselect TL_SB_GEO arcs
110
111 /* -----
112 /*  geol. Stationen
113 /* -----
114
115 markercolor rgb 255 142 142; markersize 0.3; markerfont 20;
116   markerpattern 100
117   aselect HLY-D POINTS
118   POINTS HLY-D
119   unselect HLY-D POINTS
120
121 markerfont 21; markerpattern 67
122   aselect HLY-RC POINTS
123   POINTS HLY-RC
124   unselect HLY-RC POINTS
125
126 markercolor rgb 051 204 255; markerfont 20; markerpattern 100
127   aselect PS-D POINTS
128   POINTS PS-D
129   unselect PS-D POINTS
130
131 markerfont 21; markerpattern 67
132   aselect PS-G POINTS
133   POINTS PS-G
134   unselect PS-G POINTS
```



```
134
135 /* -----
136 /*  Kartenrahmen
137 /* -----
138
139 linecolor 1; linesize 0.01
140  neatline %.mapextl1% %.mapprjgeo% clear maplimits
141 /* Gridlininen
142 linesymbol 49
143  neatlinegrid 2 0.16666666 %.mapprjgeo%
144
145 /* neatlinelabels bottom west
146 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification UC; textoffset 0 -0.3
147  &if %.sheet% = 1 &then neatlinelabels 2 bottom all %.mapprjgeo%
148  DD '%1%!pat1857; W';
149  &if %.sheet% = 2 &then neatlinelabels 2 bottom 1 2 3 %.mapprjgeo%
150  DD '%1%!pat1857; W';
151  &if %.sheet% = 3 &then neatlinelabels 2 bottom 1 %.mapprjgeo%
152  DD '%1%!pat1857; W';
153
154 /* neatlinelabels bottom east
155 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification UC; textoffset 0 -0.3
156  &if %.sheet% = 2 &then neatlinelabels 2 bottom 4 5 %.mapprjgeo%
157  DD '%1%!pat1857; E';
158  &if %.sheet% = 3 &then neatlinelabels 2 bottom 2 3 4 5 %.mapprjgeo%
159  DD '%1%!pat1857; E';
160
161 /* neatlinelabels top west
162 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification LC; textoffset 0 0.3
163  &if %.sheet% = 1 &then neatlinelabels 2 top all %.mapprjgeo%
164  DD '%1%!pat1857; W';
165  &if %.sheet% = 2 &then neatlinelabels 2 top 1 2 3 %.mapprjgeo%
166  DD '%1%!pat1857; W';
167  &if %.sheet% = 3 &then neatlinelabels 2 top 1 %.mapprjgeo%
168  DD '%1%!pat1857; W';
169
170 /* neatlinelabels top east
171 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification LC; textoffset 0 0.3
172  &if %.sheet% = 2 &then neatlinelabels 2 top 4 5 %.mapprjgeo%
173  DD '%1%!pat1857; E';
174  &if %.sheet% = 3 &then neatlinelabels 2 top 2 3 4 5 %.mapprjgeo%
175  DD '%1%!pat1857; E';
176
177 /* neatlinelabels left
178 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification CR; textoffset -0.4 0
179  neatlinelabels 0.16666666 left all %.mapprjgeo% DMS '%1%!pat1857;
180  %2%!pat1727; N';
181
182 /* neatlinelabels right
```

```
172 textcolor 1; textsize 0.2; textjustification CL; textoffset 0.4 0
173 neatlinelabels 0.16666666 right all %.mapprjgeo% DMS '%1%!pat1857;
    %2%!pat1727; N';
174
175 textoffset 0 0
176
177 &return
```

F.7 AML-Quelltext zum Kartenbegleittext

```
1 /* AML-SubScript "Data Sources and References"
2
3 textcolor black; textsize 0.8
4   move [calc %.x% + 10] [calc %.y% + 13]
5   text 'Data Sources and References' LC
6
7 /* --- Data sources -----
8
9 textsymbol 20; textstyle typeset; textsize 0.3
10  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 12]
11  text 'Data sources' LL
12
13 textsymbol 18; textsize 0.3; textstyle typeset
14  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 11.6]
15  text 'High resolution bathymetry: Multibeam survey of Arctic Mid-
16  Ocean Ridge Expedition 2001 by USCGC "Healy" (Seabeam 2112)' LL
17  move [calc %.x% + 1.7] [calc %.y% + 11.2]
18  text 'and RV "Polarstern" (Hydrosweep DS-2)' LL
19  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 10.8]
20  text 'Background bathymetry: International Bathymetric Chart of
21  the Arctic Ocean (IBCAO), Version 1.0 (2001)' LL
22  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 10.4]
23  text 'Geological sampling locations of Arctic Mid-Ocean Ridge
24  Expedition 2001 by USCGC "Healy" and RV "Polarstern" ' LL
25
26 /* --- Data capture -----
27
28 textsymbol 20; textstyle typeset; textsize 0.3
29  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 9.8]
30  text 'Data capture' LL
31
32 textsymbol 18; textsize 0.3; textstyle typeset
33  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 9.4]
34  text 'S. Gauger, T. Hartmann, J. Hatzky (RV "Polarstern"), G.
35  Kurras (USCGC "Healy")' LL
36
37 /* --- Data processing -----
38
39 textsymbol 20; textstyle typeset; textsize 0.3
40  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 8.8]
41  text 'Data processing' LL
42
43 textsymbol 18; textsize 0.3; textstyle typeset
44  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 8.4]
45  text 'Position editing by S. Gauger and T. Hartmann (CARIS
46  HIPS)' LL
```

```
42  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 8.0]
43  text 'Depth editing by S. Gauger (CARIS HIPS)' LL
44  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 7.6]
45  text 'DEM modelling, contouring and cartography by S. Gauger
      (ArcInfo)' LL
46
47 /* --- References -----
48
49 textsymbol 20; textstyle typeset; textsize 0.3
50  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 7.0]
51  text 'References' LL
52
53 textsymbol 18; textsize 0.3; textstyle typeset
54  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 6.6]
55  text 'Jakobsson, M., N. Z. Cherkis, J. Woodward, R. Macnab, and
      B. Coakley. New grid of Arctic bathymetry aids scientists and
      mapmakers,' LL
56  move [calc %.x% + 1.7] [calc %.y% + 6.2]
57  text 'Eos, Transactions, American Geophysical Union, v.81,
      no.9, p. 89, 93, 96.' LL
58  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 5.8]
59  text 'Jakobsson, M., and IBCAO Editorial Board Members, 2001,
      Improvement to the International Bathymetric Chart of the
      Arctic Ocean (IBCAO):' LL
60  move [calc %.x% + 1.7] [calc %.y% + 5.4]
61  text 'Updating the Data Base and the Grid Model, EOS
      Transactions, American Geophysical Union, v. 84.' LL
62  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 5.0]
63  text 'Thiede, J. et al.: Scientific Cruise Report of AMORE
      2001. Reports on Polar Research (in prep.),' LL
64  move [calc %.x% + 1.7] [calc %.y% + 4.6]
65  text 'Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research,
      Bremerhaven, 2002.' LL
66  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 4.2]
67  text 'Michael, P. et al.: Scientific Cruise Report of AMORE 2001
      (in prep.).' LL
68
69  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 3.2]
70  text 'Vertical reference system: Mean Sea Level. Vertical
      datum: Instantaneous Sea Level.' LL
71  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 2.8]
72  text 'Depth are shown in meters assuming a sound velocity in
      water of 1500 m/s.' LL
73
74  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 2.2]
75  text 'This product is not intended for navigational purposes.' LL
76
77  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 1.6]
78  text 'Reproduction in any form without the written permission
```

```
of the publisher is prohibited.' LL
79  move [calc %.x% + 1] [calc %.y% + 1.2]
80  text 'Copyright !pat493; Alfred Wegener Institute for Polar and
      Marine Research, Bremerhaven, 2002.' LL
81
82 &return
```

F.8 AML-Quelltext zur Kartenlegende

```
1 /* AML-SubScript zur Kartenlegende
2
3 textcolor black; textsize 0.8
4 move [calc %.x% + 12] [calc %.y% + 14]
5 text 'Legend' LC
6
7 /* -----
8 /*  Legendenpolygone
9 /* -----
10 &setvar x = [calc %.x% - 2]
11 &setvar y = [calc %.y% - 0]
12
13 linesymbol 1; linecolor 4; shadetype color
14
15 shadecolor cmyk 5 3 0 0 /* T_STUFE 0
16 patch [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 11.5] [calc %.x% + 7.8]
17 [calc %.y% + 12.3]
18 box [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 11.5] [calc %.x% + 7.8]
19 [calc %.y% + 12.3]
20 shadecolor cmyk 15 7 0 0 /* T_STUFE 1
21 patch [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 10.7] [calc %.x% + 7.8]
22 [calc %.y% + 11.5]
23 box [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 10.7] [calc %.x% + 7.8]
24 [calc %.y% + 11.5]
25 shadecolor cmyk 25 11 0 0 /* T_STUFE 2
26 patch [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 9.9] [calc %.x% + 7.8]
27 [calc %.y% + 10.7]
28 box [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 9.9] [calc %.x% + 7.8]
29 [calc %.y% + 10.7]
30 shadecolor cmyk 35 15 0 0 /* T_STUFE 3
31 patch [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 9.1] [calc %.x% + 7.8]
32 [calc %.y% + 9.9]
33 box [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 9.1] [calc %.x% + 7.8]
34 [calc %.y% + 9.9]
35 shadecolor cmyk 45 19 0 0 /* T_STUFE 4
36 patch [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 8.3] [calc %.x% + 7.8]
37 [calc %.y% + 9.1]
38 box [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 8.3] [calc %.x% + 7.8]
39 [calc %.y% + 9.1]
40 shadecolor cmyk 55 23 0 0 /* T_STUFE 5
41 patch [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 7.5] [calc %.x% + 7.8]
42 [calc %.y% + 8.3]
43 box [calc %.x% + 6.5] [calc %.y% + 7.5] [calc %.x% + 7.8]
44 [calc %.y% + 8.3]
45
46
47
48
49
50 /* -----
```

```
51 /* Legenden-Polygontext erzeugen
52 /* -----
53
54 &setvar x = [calc %.x% + 4.1]
55 &setvar y = [calc %.y% + 0.05]
56
57 textsize 0.4
58 move [calc %.x% + 0.4] [calc %.y% + 13.1]; text 'Depth' UL
59 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 13.1]; text 'Meters' UR
60
61 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 12.3]; text '0' CR
62 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 11.5]; text '1000' CR
63 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 10.7]; text '2000' CR
64 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 9.9]; text '3000' CR
65 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 9.1]; text '4000' CR
66 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 8.3]; text '5000' CR
67 move [calc %.x% + 3.2] [calc %.y% + 7.5]; text '6000' CR
68
69 /* -----
70 /* Legenden-Arcs und Arc-Beschriftung
71 /* -----
72 &setvar x = [calc %.x% + 8.1]
73 &setvar y = [calc %.y% + 0.05]
74
75 linesize 0.01; linecolor 4
76 line [calc %.x% + 0.7] [calc %.y% + 11.85] [calc %.x% + 3.3]
77 [calc %.y% + 11.85]
78
79 linesize 0.02
80 line [calc %.x% + 0.7] [calc %.y% + 11.05] [calc %.x% + 1.6]
81 [calc %.y% + 11.05]
82 line [calc %.x% + 2.4] [calc %.y% + 11.05] [calc %.x% + 3.3]
83 [calc %.y% + 11.05]
84
85 linesize 0.01; linecolor rgb 175 175 175
86 line [calc %.x% + 0.7] [calc %.y% + 10.25] [calc %.x% + 3.3]
87 [calc %.y% + 10.25]
88
89 linesize 0.02
90 line [calc %.x% + 0.7] [calc %.y% + 9.45] [calc %.x% + 1.6]
91 [calc %.y% + 9.45]
92 line [calc %.x% + 2.4] [calc %.y% + 9.45] [calc %.x% + 3.3]
93 [calc %.y% + 9.45]
94
95 textsize 0.5
96 move [calc %.x% + 8.1] [calc %.y% + 13.1]
97 text 'Depths Contours' UR
98
99 textsize 0.4
```

```
94     move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 11.9]
95     text '50 m intervals of high resolution bathymetry' CR
96     move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 11.1]
97     text '200 m intervals of high resolution bathymetry' CR
98
99     textsize 0.25; textcolor 4
100    move [calc %x% + 2] [calc %y% + 11.1]
101    text '4200' CC
102
103    textsize 0.4; textcolor black
104    move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 10.3]
105    text '100 m intervals of background bathymetry' CR
106    move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 9.5]
107    text '200 m intervals of background bathymetry' CR
108
109    textsize 0.25; textcolor rgb 175 175 175
110    move [calc %x% + 2] [calc %y% + 9.5]
111    text '4200' CC
112
113    /* -----
114    /* Projection Information
115    /* -----
116
117    textsize 0.5; textcolor 1
118    move [calc %x% + 8.6] [calc %y% + 8.75]
119    text 'Projection Information' UR
120
121    &setvar x = [calc %.x% + 5.1]
122    &setvar y = [calc %.y% + 0.05]
123
124    textsize 0.4
125
126    move [calc %x% + 4.7] [calc %y% + 7.3]; text 'Scale:' LL
127    move [calc %x% + 4.7] [calc %y% + 6.7]; text 'Projection:' LL
128    move [calc %x% + 4.7] [calc %y% + 6.1]; text 'Standard parallels:'
    LL
129    move [calc %x% + 4.7] [calc %y% + 5.5]; text 'Horizontal datum:'
    LL
130
131    &setvar x = [calc %.x% + 7.1]
132    &setvar y = [calc %.y% + 0.05]
133
134    move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 7.3]; text '1 : 150 000' LR
135    move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 6.7]; text 'Lambert Conformal
    Conic' LR
136    move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 6.1]; text "8600' N and 8400' N"
    LR
137    move [calc %x% + 11.6] [calc %y% + 5.5]; text "WGS 1984" LR
138
```



```
139 textoffset 0 0
140
141 /* -----
142 /* Masstaebe erzeugen: kilometres scalebar
143 /* -----
144
145 linesize 0.02; linecolor black
146
147 box [calc %.x% + 5.135] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 18.995]
    [calc %.y% + 4]
148
149 line [calc %.x% + 5.265] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 5.265]
    [calc %.y% + 4] /* 0.8
150 line [calc %.x% + 5.405] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 5.405]
    [calc %.y% + 4] /* 0.6
151 line [calc %.x% + 5.535] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 5.535]
    [calc %.y% + 4] /* 0.4
152 line [calc %.x% + 5.665] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 5.665]
    [calc %.y% + 4] /* 0.2
153 line [calc %.x% + 5.805] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 5.805]
    [calc %.y% + 4] /* 0.0
154 line [calc %.x% + 9.135] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 9.135]
    [calc %.y% + 4] /* 5.0
155 line [calc %.x% + 12.465] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 12.465]
    [calc %.y% + 4] /* 10.0
156 line [calc %.x% + 15.665] [calc %.y% + 3.8] [calc %.x% + 15.665]
    [calc %.y% + 4] /* 15.0
157
158 linesize 0.08
159
160 line [calc %.x% + 5.265] [calc %.y% + 3.9] [calc %.x% + 5.405]
    [calc %.y% + 3.9] /* 0.8 - 0.6
161 line [calc %.x% + 5.535] [calc %.y% + 3.9] [calc %.x% + 5.665]
    [calc %.y% + 3.9] /* 0.4 - 0.2
162 line [calc %.x% + 5.805] [calc %.y% + 3.9] [calc %.x% + 9.135]
    [calc %.y% + 3.9] /* 0 - 5
163 line [calc %.x% + 12.465] [calc %.y% + 3.9] [calc %.x% + 15.665]
    [calc %.y% + 3.9] /* 10 - 15
164
165 /* -----
166 /* nautical miles scalebar
167 /* -----
168
169 linesize 0.02; linecolor black
170
171 box [calc %.x% + 5.21] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 18.79]
    [calc %.y% + 2.2]
172
173 line [calc %.x% + 5.46] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 5.46]
```

```

[calc %.y% + 2.2] /* 0.8
174 line [calc %.x% + 5.704] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 5.704]
[calc %.y% + 2.2] /* 0.6
175 line [calc %.x% + 5.95] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 5.95]
[calc %.y% + 2.2] /* 0.4
176 line [calc %.x% + 6.20] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 6.20]
[calc %.y% + 2.2] /* 0.2
177 line [calc %.x% + 6.44] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 6.44]
[calc %.y% + 2.2] /* 0.0
178 line [calc %.x% + 8.91] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 8.91]
[calc %.y% + 2.2] /* 2.0
179 line [calc %.x% + 11.38] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 11.38]
[calc %.y% + 2.2] /* 4.0
180 line [calc %.x% + 13.85] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 13.85]
[calc %.y% + 2.2] /* 6.0
181 line [calc %.x% + 16.32] [calc %.y% + 2] [calc %.x% + 16.32]
[calc %.y% + 2.2] /* 8.0
182
183 linesize 0.08
184
185 line [calc %.x% + 5.46] [calc %.y% + 2.1] [calc %.x% + 5.704]
[calc %.y% + 2.1] /* 0.8 - 0.6
186 line [calc %.x% + 5.95] [calc %.y% + 2.1] [calc %.x% + 6.20]
[calc %.y% + 2.1] /* 0.4 - 0.2
187 line [calc %.x% + 6.44] [calc %.y% + 2.1] [calc %.x% + 8.91]
[calc %.y% + 2.1] /* 0 - 2
188 line [calc %.x% + 11.38] [calc %.y% + 2.1] [calc %.x% + 13.85]
[calc %.y% + 2.1] /* 4 - 6
189 line [calc %.x% + 16.32] [calc %.y% + 2.1] [calc %.x% + 18.79]
[calc %.y% + 2.1] /* 8 - 10
190
191 /* -----
192 /* scalebar Beschriftung
193 /* -----
194
195 textsize 0.4; textcolor black
196
197 move [calc %.x% + 12.1] [calc %.y% + 4.2]
198 text "Kilometers at Standard Parallels" LC
199
200 textoffset 0 -0.15; textsize 0.35
201
202 move [calc %.x% + 5.135] [calc %.y% + 3.8]; text '1' UC
203 move [calc %.x% + 5.805] [calc %.y% + 3.8]; text '0' UC
204 move [calc %.x% + 9.135] [calc %.y% + 3.8]; text '5' UC
205 move [calc %.x% + 12.465] [calc %.y% + 3.8]; text '10' UC
206 move [calc %.x% + 15.665] [calc %.y% + 3.8]; text '15' UC
207 move [calc %.x% + 18.995] [calc %.y% + 3.8]; text '20' UC
208

```

```
209 textoffset 0 0
210
211 move [calc %.x% + 12.1] [calc %.y% + 2.4]
212 text "Nautical Miles at Standard Parallels" LC
213
214 textoffset 0 -0.15; textsize 0.35
215
216 move [calc %.x% + 5.21] [calc %.y% + 2]; text '1' UC
217 move [calc %.x% + 6.44] [calc %.y% + 2]; text '0' UC
218 move [calc %.x% + 8.91] [calc %.y% + 2]; text '2' UC
219 move [calc %.x% + 11.38] [calc %.y% + 2]; text '4' UC
220 move [calc %.x% + 13.85] [calc %.y% + 2]; text '6' UC
221 move [calc %.x% + 16.32] [calc %.y% + 2]; text '8' UC
222 move [calc %.x% + 18.79] [calc %.y% + 2]; text '10' UC
223
224 textoffset 0 0
225
226 &return
```

G Bathymetrische Karten des Gakkel-Rückens 1 : 150 000

**G.1 Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge 1 : 150 000
2° W – 6° 30' E**

G.2 Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge 1 : 150 000
7° W – 2° E

G.3 Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge 1 : 150 000
9° W – 2° W

H Inhalt der beigefügten CD-ROM

– aml

plot_amore_01.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Karte 9° W – 2° W</i>
plot_amore_02.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Karte 7° W – 2° E</i>
plot_amore_03.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Karte 2° W – 6° 30' E</i>
plot-isolines.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Darstellung des Inhaltes der Hauptkarte</i>
plot-index.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Nebenkarte Sheet Index of Gakkel-Ridge</i>
plot-track.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Nebenkarte Track Lines and Geological Sampling Stations</i>
plot-source.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zum Kartenbegleichttext</i>
plot-legende.aml	<i>AML-Quellcode des ArcInfo Plot-Skript zur Kartenlegende</i>

– mov

gakkel-mpg4.avi	Dreidimensionale Flugsimulation über das Geländemodell
MakingOff.txt	Beschreibung zur Flugsimulation

– perl

depth2sound.pl	<i>perl-Quellcode des Programms depth2sound</i>
mb_svp2svp.pl	<i>perl-Quellcode des Programms mb_svp2svp</i>

– sheets

9W-2W.pdf	Bathymetrische Karte 9° W – 2° W im PDF-Format
7W-2E.pdf	Bathymetrische Karte 7° W – 2° E im PDF-Format
2W-6E.pdf	Bathymetrische Karte 2° W – 6° 30' E im PDF-Format

– tex

dip.pdf	Diplomarbeit im PDF-Format
dip.ps	Diplomarbeit im PostScript-Format

dip.tex	LaTeX-Quellcode der Diplomarbeit
app_depth2sound.tex	LaTeX-Quellcode des Anhang C
app_mb_svp2svp.tex	LaTeX-Quellcode des Anhang D
app_ai-aml.tex	LaTeX-Quellcode des Anhang E
bibliographie.bib	BibTeX-Datei mit verwendeter Literatur
– images	
	EPS-Graphiken der Diplomarbeit

Erklärung nach §23(5) PSO

Ich versichere, dass ich diese Abschlussarbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den 19. September 2002

Steffen Gauger